

TESIS DOCTORAL:

INGENIERÍA MECÁNICA EN EL SIGLO
XV Y SU CONTRIBUCIÓN AL
DESCUBRIMIENTO DE AMÉRICA.

DIRIGIDA POR:

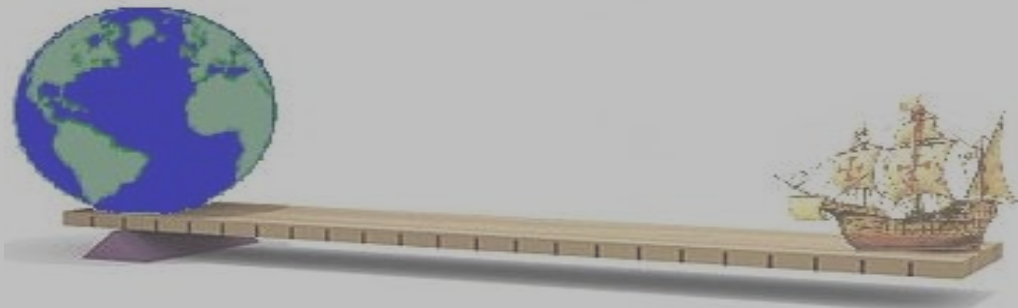
DR. D. RAFAEL GONZALEZ PALMA

DR. D. JUAN ANTONIO CABRERA CARRILLO.

REALIZADA POR:

D. JUAN JOSÉ PRIETO ROMERO

FINALIZADA EN MAYO DE 2009



TESIS DOCTORAL:

INGENIERÍA MECÁNICA EN EL SIGLO
XV Y SU CONTRIBUCIÓN AL
DESCUBRIMIENTO DE AMÉRICA.

DIRIGIDA POR:

DR. D. RAFAEL GONZALEZ PALMA

DR. D. JUAN ANTONIO CABRERA CARRILLO.

REALIZADA POR:

D. JUAN JOSÉ PRIETO ROMERO

Agradecimientos:

En general, dedico éste trabajo, a todos aquellos que han colaborado en algún momento, en mi formación académica y personal, y me han inculcado amor y deseos de saber y conocer.

En especial, al Dr. Marco Ceccarelli y a los directores de ésta tesis, los doctores Rafael González Palma y José Antonio Cabrera Carrillo, por sus acertados consejos, por su confianza y por lo más importante, su amistad.

A mis compañeros de docencia, Dr. Ricardo Arribas de Paz y Dr. Juan Carlos Fortes Garrido, porque sus palabras de ánimo, han sido fundamentales para llevar a buen puerto éste proyecto.

Por último, a aquellas personas que mas sentido le dan a mi vida, mi esposa Milagros y mis hijos, Paloma, Maria, Mónica y Juan José.

A todos, gracias por existir.

- RAFAEL GONZAEZ PALMA, PROFESOR TITULAR DEL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DISEÑO INDUSTRIAL DE LA
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ.

CERTIFICO:

Que el presente trabajo ha sido realizado en el Departamento de,
bajo la dirección del doctor Don Rafael González Palma.

- RAFAEL GONZAEZ PALMA, PROFESOR TITULAR DEL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DISEÑO INDUSTRIAL DE LA
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ.

AUTORIZA:

A D. Juan José Prieto Romero, a presentar su Tesis Doctoral
“Ingeniería Mecánica en el Siglo XV y su contribución en el Descubrimiento
de America”.

Lo que firma, de acuerdo con la normativa vigente que regula el
Tercer Ciclo de Estudios Universitarios.

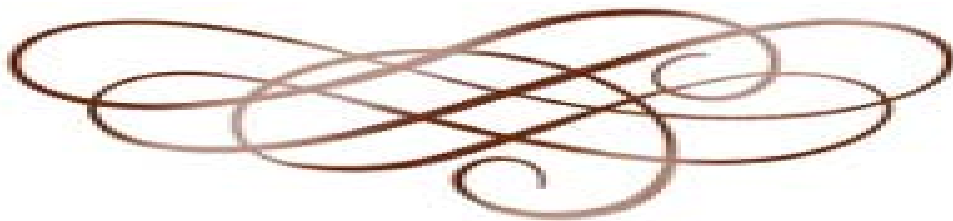
En Cádiz 2009.

Pensando en *Newton* como el padre de la mecánica moderna, podemos reparar en la figura de *Galileo Galilei* como el padre de la mecánica antigua; y remitiéndome a este último me atrevo a ondear una de sus más celeberrimas frases:

"Digamos que existen dos tipos de mentes poéticas: una apta para inventar fábulas y otra dispuesta a creerlas."

Es madurando esto cuando me aventuro a pensar en la reciprocidad poética del presente tratado conformado, como es, por dos fuerzas de igual mérito. Y no son otras tales energías sino mi voluntad redactora y la, por mi deseada, intención de ser creídas por el lector.

En conclusión, se ha intentado dejar aquí un trabajo equilibrado por las tensiones citadas, en el que, actuando a modo de *palanca* empujando la primera y dejándose mover la segunda, dos mentes poéticas viajan hacia un *Nuevo Mundo*.



ÍNDICE



INDICE

	PAGINA
1.- OBJETO Y APORTACION DE LA TESIS	5
2.- INTRODUCCIÓN	7
2.1.- Contextualización del objetivo	8
2.2.- Metodología	9
3.- CONTEXTUALIZACIÓN	10
3.1.- Aspectos históricos	11
3.2.- Aspectos Socio-políticos	11
3.3.- Aspectos económicos	16
3.4.- Aspectos tecnológicos y de la ingeniería mecánica	20
3.5.- Mecanismos usados en los principales sectores productivos	25
3.5.1.- Agricultura	25
3.5.2.- Construcción	37
3.5.3.- Militar	44
3.5.4.- Transporte	50
4.- MEDIOS Y RECURSOS TÉCNICOS USADOS EN LAS CARABELAS	55
4.1.- Ingeniería Naval	56
4.1.1.- Las naves del descubrimiento: La mejor tecnología naval de Europa	59
4.1.2.- Técnicas navales; Instrumentos en el viaje del descubrimiento	71
4.1.3.- Producción naval	77
4.1.4.- “Las Tres Carabelas”.	85
4.2.- Ingeniería Mecánica	91
4.2.1.- Tipos de Máquinas simples	96
4.2.2.- Cronología	112



INDICE

5.-ELEMENTOS, MECANISMOS Y SISTEMAS MECANISCOS USADOS EN LAS NAVES DESCUBRIDORAS	122
5.0.- Introducción	123
5.1.- Eslabones	123
5.1.1- Vergas	123
5.1.2- Jarcias	125
5.2.- Mecanismos	131
5.2.1.- Cabrestante	131
5.2.2.- Trinquete	140
5.2.3.- Poleas	145
5.2.4.- Timón de Codaste	152
5.3.- Sistemas mecánicos	180
5.3.1.- Izado de vergas	180
5.3.2.- Equilibrado de mástiles	186
5.3.3.- Orientación de vergas	188
5.3.4.- Elevación de cargas	190
5.3.5.- Alineación de velas	193
5.4.- Conjunto de sistemas mecánicos.	195
5.5.- Modelado computacional	198
5.5.1 Modelado en W. M. de sistema de izado de vergas.	198
5.5.2 Modelado en W. M. de sistema de orientación de vergas.	209
5.5.3 Modelado en W. M. de sistema de alineación de velas.	215
5.5.4 Modelado en W. M del mecanismo timón.	219
6.- CONCLUSIONES	223
7.- FUENTES DE INFORMACIÓN	226





1.- OBJETO Y APORTACIÓN DE LA TESIS.



1.- OBJETO Y APORTACIÓN DE LA TESIS.

La aportación de esta tesis, nos viene ofrecida por el resultado de la descripción, desde un punto de vista tanto histórico como técnico, del estado del arte de la Ingeniería Mecánica del siglo XV, más concretamente desde la óptica de la teoría de maquinas y mecanismos, que en los distintos sectores productivos, aportaban eficacia y ventaja mecánica a la acción humana.

Se expone además, minuciosa y ordenadamente, el estudio de los diferentes mecanismos y sistemas mecánicos, que en parte hicieron posible el Descubrimiento de América, es decir, se pretende reflotar los recursos técnicos mecánicos que había detrás de tan emprendedora empresa. En definitiva, se ha tratado de poner a la luz, como la ingeniería mecánica contribuyó a la gesta descubridora.

La Nao ha sido destripada para sacar de cada una de sus tablas los esfuerzos mecánicos que la afectaban, transformándola en un *todo* vectorizado y, lo que es más importante, resuelto con resultado positivo. Esto es, se ha disuelto la duda que pudiera existir a la cuestión de ¿fue mecánicamente posible la gesta del Descubrimiento?.

En general, este trabajo servirá para enriquecer futuras tesis de carácter histórico-técnico, además de mostrarse idóneo para estudios enfocados al tratamiento de imágenes, simulación y modelado de los navíos de la época.

Conforma un modelo a seguir para el estudio de los diversos sistemas mecánicos de navíos similares, o de los no recogidos en este trabajo pero también presentes en las naves del Descubrimiento, como el laboreo de las muy diversas velas.

Y por último recabar en el hecho de que se contribuye también a futuros estudios como por ejemplo:

- Ingeniería de los materiales usados en la construcción de los diferentes mecanismos empleados, atendiendo a sus propiedades mecánicas inherentes.
- Cálculos precisos de optimización posicional de los mástiles en las carabelas.
- Optimización del dimensionado, forma y disposición de las velas, así como , de los diferentes mecanismos y sistemas mecánicos, empleados en navíos de la época.



2.- INTRODUCCIÓN



2.- INTRODUCCIÓN.

2.1.-CONTEXTUALIZACION DEL OBJETIVO.

Desde una perspectiva empresarial y analizando someramente los recursos que constituía la organización del descubrimiento de América, se observa que para la consecución heroica del citado acontecimiento, fueron necesarias la concentración de esfuerzos y recursos de diversa índole.

Así, podemos enumerar:

- Recursos económicos y financieros.
- Recursos humanos.
- Recursos técnicos, etc, etc.

A su vez, se entiende que en la citada empresa, no solo fue necesario el profundo conocimiento del arte de la navegación, sino que además confluían numerosas disciplinas adicionales y necesarias, como son:

- Conocimientos de orientación y de las estrellas.
- Conocimientos de conservación de alimentos y bebidas.
- Conocimientos de enfermería.
- Conocimientos de ordenación de mando y tareas a bordo.
- Conocimientos de mecánica o ingeniería mecánica.

Siendo este último el campo en el que centraremos nuestro estudio, entendiéndolo como un ladrillo más, de los que conformaban el muro sobre el que se sustentaba la empresa del descubrimiento.

La expresión **descubrimiento de América** se usa habitualmente para referirse a la llegada a América de un grupo expedicionario español que, representando a los Reyes Católicos de Castilla y Aragón, partieron desde el Puerto de Palos de la Frontera, comandados por Cristóbal Colón, y llegaron el viernes 12 de octubre de 1492 a una isla del mar Caribe llamada Guanahani. Los viajes de los portugueses a India, siguiendo la



costa africana, significaron un estímulo para quienes creían en la ruta hacia el oeste como el camino más corto para llegar hasta Asia.

Cristóbal Colón fue partidario de esta hipótesis y apoyado por la monarquía española, organizó un viaje de exploración que lo condujo a la costa americana en 1492. Creyó que había llegado al continente asiático, denominado por los europeos Indias, y murió sin saber que había llegado a un continente desconocido por los europeos.

Pero el tema de este trabajo no es representar la proeza histórica llevada a cabo por los navegantes de la época, sino el estudio de los diferentes mecanismos y la tecnología con las que contó el descubrimiento de un *Nuevo Mundo* a bordo de la “Pinta”, “La Niña” y “La Santa María”; así como del contexto que rodeó este importante hecho.

Dejando un poco de lado el hecho del descubrimiento en sí, se pretende dar a conocer todo lo que había detrás de tan emprendedora empresa. Realizando un símil con el mundo del espectáculo, diremos que queremos ver qué había detrás del telón.

2.2.- METODOLOGÍA.

Para conseguir los objetivos pretendidos por este trabajo, el documento se ha desarrollado según la metodología siguiente:

- Revisión bibliográfica de trabajos publicados hasta la fecha, referentes al estudio de métodos de navegación, arquitectura naval, historia y teoría de máquinas y mecanismos.
- Visita de campo al Muelle de las Carabelas, en la Rábida, donde se encuentran las recreaciones de las naves que usó Colón para su viaje, de las que nos hemos basado para realizar los análisis de los diferentes mecanismos presentes en las mismas (dimensiones, fotografías...etc.).
- Aplicación de la parte teórica obtenida en la bibliografía a las mediciones realizadas en las naves.
- Estudio y análisis ingenieril de los diferentes eslabones, mecanismos y sistemas mecánicos de las carabelas.



3.- CONTEXTUALIZACIÓN



3.- CONTEXTUALIZACIÓN.

3.1.- Aspectos históricos.

Como sabemos, el descubrimiento de América tuvo lugar en el año 1492, siglo XV, el llamado "siglo de las innovaciones", el cual abre la era de los descubrimientos. Para la historia occidental es el último siglo de la Edad Media y el primero de la Edad Moderna, tomándose convencionalmente como momento de división entre ellas el año 1492 (Descubrimiento de América) o el 1453 (toma de Constantinopla por los turcos e invención de la imprenta)

La nueva mentalidad renacentista (siglo XIV y XV), tuvo una gran importancia para la evolución de la ciencia moderna gracias a:

Surgimiento del humanismo, que supone un esfuerzo por recuperar la cultura clásica en sus propios valores y en sus propias realizaciones.

Reacción contra la ciencia oficial, sobre todo contra la física aristotélica y la astronomía tolemaica. Así se abren nuevos caminos en la dinámica (estudio del movimiento uniforme, relación entre fuerza y velocidad, etc...) y en la astronomía heliocentrista.

Comienzo de la técnica científica, con el desarrollo de la burguesía urbana, a mediados del siglo XV, comenzó a superarse la escisión clásica y medieval entre teoría y praxis, entre ciencia y actividad manual. Los burgueses, cuya fortuna dependía de las actividades mercantiles, mantienen el contacto con el mundo laboral, mientras que ciertos artesanos pueden acceder al mundo de la cultura. En este sentido, aparece la figura del técnico científico; es decir, del ingeniero cuya ciencia debe bastante a la observación y al experimento y se orientaba a mejorar el rendimiento de los trabajadores manuales, de los cuales Leonardo da Vinci es el mejor prototipo.

3.2.- Aspectos Socio-políticos.

El Reinado de los Reyes Católicos

El matrimonio entre Fernando e Isabel tiene lugar en el año 1469. Fernando es hijo del rey de Aragón e Isabel hermana del rey de Castilla, Enrique. Cuando éste muere,



en 1474, se plantea la cuestión sucesoria en Castilla. Al trono aspiran Isabel y la hija del antiguo monarca Juana la Beltraneja, llamada así por ser presunta hija bastarda de Beltrán de la Cueva. Se desata la llamada Guerra de Sucesión Castellana, conflicto que se produjo de 1475 a 1479 por la sucesión de la Corona de Castilla entre los partidarios de Juana, hija del difunto monarca Enrique IV de Castilla, y los de Isabel, hermanastra de este último.



Europa occidental en 1470.

La guerra tuvo un marcado carácter internacional porque Isabel estaba casada con Fernando, heredero de la Corona de Aragón, mientras que Juana se casó con el rey Alfonso V de Portugal. Francia también intervino, apoyando a Portugal para evitar el triunfo de Aragón, su rival en Italia.



Bandos de la Guerra en 1475:

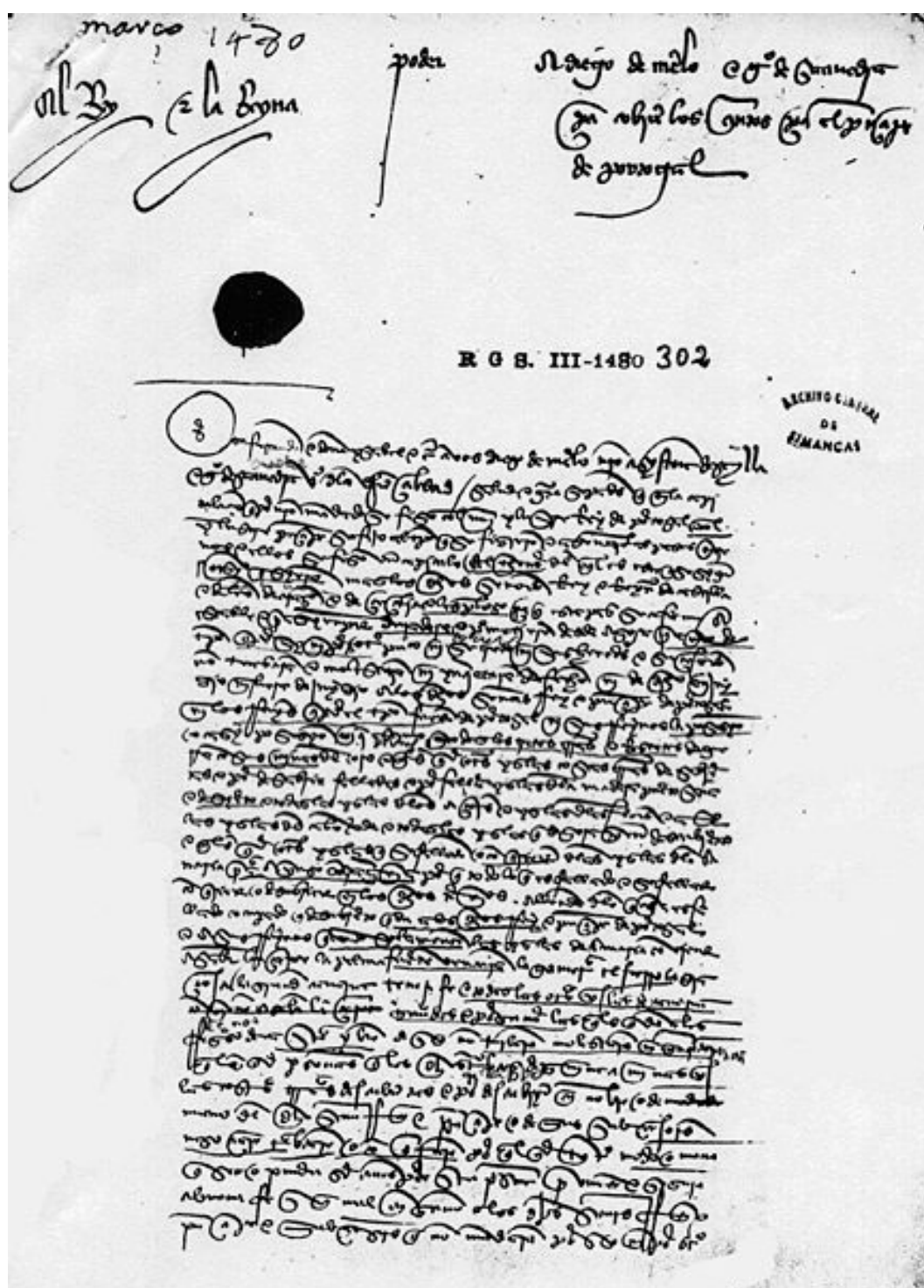
- A favor de Juana:
 - Portugal.
 - Francia.
 - Una parte de la alta nobleza castellana: el arzobispo de Toledo, la familia Estúñiga, el marqués de Villena, el marqués de Cádiz y el maestre de la Orden de Calatrava.
- A favor de Isabel:
 - La Corona de Aragón .
 - El resto de la nobleza castellana: la muy poderosa familia de Mendoza, la familia Manrique de Lara, el duque de Medina Sidonia, , la Orden de Santiago y la Orden de Calatrava excepto su maestre.

El ducado de Borgoña y el reino de Inglaterra estaban en guerra con Francia en 1475 pero no coordinaron sus acciones con los partidarios de Isabel y por ello no se les considera normalmente integrantes del bando isabelino.

A pesar de algunos éxitos iniciales para los partidarios de Juana, la escasa agresividad militar de Alfonso V y la derrota portuguesa en la batalla de Toro llevaron a la desintegración del bando juanista entre 1476 y 1477. A partir de entonces el conflicto consistió esencialmente en una guerra entre Castilla y Portugal, cobrando gran importancia la guerra naval en el océano Atlántico, donde las flotas portuguesas se impusieron a las castellanas en la lucha por el acceso a las riquezas de Guinea.

El tratado que puso fin a la guerra fue firmado en la villa portuguesa de Alcáçovas el 4 de septiembre de 1479. El acuerdo fue ratificado por el rey de Portugal el 8 de septiembre de 1479 y por los reyes de Castilla y Aragón en Toledo el 6 de marzo de 1480, por lo que también se le conoce como Tratado de Alcáçovas-Toledo.



Pregón del Tratado de Alcáçovas¹.

1. Documento público conservado en el Archivo General de Simancas (España). Signatura R.G.S. III-1480 302.



Por este acuerdo, Alfonso V renunció al trono de Castilla mientras que Isabel y Fernando a cambio renunciaron al trono portugués. Las dos coronas se repartieron sus zonas de influencia en el Atlántico, quedando para Portugal la mayor parte de los territorios, con la excepción de las islas de Canaria (de las que aún faltaban por conquistar las islas de Gran Canaria, La Palma y Tenerife).

Asimismo se firmaron dos acuerdos (habitualmente llamados "Tercerías de Moura") que resolvían la cuestión dinástica castellana. En primer lugar imponían a la princesa Juana la renuncia a todos sus títulos castellanos y su reclusión en un convento o su boda con el heredero de los católicos, el príncipe Juan. Juana eligió el convento, aunque permaneció activa en la vida política hasta su muerte.

En segundo lugar, se acordaba la boda de la infanta Isabel, hija de Isabel y Fernando, con el heredero del trono portugués, Alfonso, así como el pago por los padres de la novia de una enorme dote, que en la práctica representaba una indemnización de guerra obtenida por Portugal.

El objetivo principal de los Reyes Católicos, título que les concede el papa, es crear un estado moderno, lo cual incluye un estado expansivo territorialmente, un monarca poderoso y un estado también poderoso económica, militar y políticamente.

Para conseguirlo utilizan en primer lugar una expansión territorial vinculada a la Corona de Castilla. El intento de unir ambas coronas, la de Aragón y la de Castilla fracasa y cada uno es soberano de su particular reino. En Castilla Isabel se preocupa de la política interna y Fernando de la política externa. Las cuestiones judiciales las tratan juntos.

Otro hecho perteneciente a la expansión territorial es la anexión de Granada en 1492 tras diez años de larga guerra. Para ello la Corona de Aragón presta mucha ayuda material y la iniciativa y los soldados corresponden a Castilla. La anexión a Castilla le proporciona medio millón de habitantes, mayores conocimientos en las técnicas militares, prestigio en el exterior y una mayor seguridad en el Mediterráneo. También el descubrimiento y la colonización de América son muy importantes en el aspecto de la expansión territorial. En 1512, los Reyes Católicos se anexionan Navarra. Tras la muerte de Gastón de Foix se plantea la cuestión sucesoria en este satélite francés. Fernando reclama los derechos de su segunda mujer y envía un ejército castellano al mando del duque de Alba a Navarra. Tras tres años de anexión a Aragón pasa a pertenecer a Castilla. Además de esto Fernando lleva una política



matrimonial de sus hijos muy hábil en Europa con objeto de aislar a Francia.

El segundo medio que emplean los Reyes Católicos para crear un estado moderno es la centralización del poder en torno a la corona de Castilla. Para ello consigue dominar a la nobleza que se transforma de una aristocracia feudal en cortesana. Pierde así su poder político aunque mantiene su poder económico y su impacto social. Pasan a ocupar cargos en el ejército, la diplomacia y cargos públicos. También los Reyes Católicos tratan de dominar al clero regular (Órdenes militares) y secular (arzobispos, cardenales). Pretenden así hacer frente al feudalismo episcopal y frenar las intromisiones extranjeras (el vaticano elegía a los religiosos).

Además los Reyes Católicos organizan su poder de la siguiente manera. Arriba del todo se encuentra la corona. Por debajo de ella se encuentra un ejército permanente al servicio de la corona, los consulados en diversos países que mantenían al monarca informado de la situación en aquellos lugares y el Consejo Real. Este se subdivide a su vez en una serie de Consejos: Por una parte se encuentra el Consejo de Aragón que trata las relaciones con esta corona aunque sólo lo constituyen funcionarios castellanos. Otros Consejos son el de Indias, el de la Santa Hermandad, una policía de estado al servicio de la Corona, el consejo de Hacienda que establecía impuestos ordinarios (aranceles, aduanas) y extraordinarios, aprobados por las cortes. El consejo de la Inquisición era un tribunal para cuestiones religiosas con jurisdicción en Castilla y Aragón y el consejo de órdenes militares administraba las copiosas rentas de las órdenes militares, de las cuales los Reyes Católicos habían asumido el maestrazgo. Por debajo de estos consejos se encuentran las audiencias, tribunales de justicia ubicados en Valladolid (incluye el País Vasco), en Granada y en Galicia. En un escalón inferior se encuentran los municipios y los corregidores. Estos eran funcionarios del estado con derecho a vetar las decisiones contra el rey aprobadas en cada municipio.

3.3.- Aspectos económicos.

En este periodo España sufría una crisis demográfica que golpeó duramente a una agricultura que no había evolucionado tecnológicamente. Amplias zonas se despoblaron, reduciéndose las tierras puestas en cultivo a la vez que, en muchas zonas, escaseaba la mano de obra campesina. El descenso de las rentas de los grandes propietarios, la nobleza, fue la lógica consecuencia de una crisis económica.



Esta nueva situación (falta de mano de obra, zonas despobladas y tierras no cultivadas que podían ser utilizadas para pastos) llevó a que en Castilla la ganadería trashumante ovina se impusiera como principal actividad económica. Los privilegios del Honrado Concejo de la Mesta², asociación de los grandes ganaderos castellanos fundada por Alfonso X el Sabio en el 1273, aumentaron notablemente.

La artesanía también entra en declive ante el descenso de la demanda provocado por el descenso demográfico y el empobrecimiento de la población. El comercio fue la actividad menos afectada por la crisis, basado en la exportación de lana y la importación de productos manufacturados de lujo y dirigido esencialmente a Flandes.

Ganadería.

La ganadería en España está dominada por el tipo de explotación extensiva. La organización más representativa es la Mesta³, que practica la trashumancia entre el norte y el sur de la península.

También en la Corona de Aragón surgieron asociaciones pastoriles o mestas, pero de mucha menor importancia política y económica. Estas asociaciones practicaban la trasterminancia más que la trashumancia.

La Mesta fue acumulando privilegios a lo largo de los siglos, pero el periodo de máxima expansión fue el reinado de los Reyes Católicos, ya que en esta etapa la seguridad aumentó gracias al fin de la Reconquista y a la creación de la Santa Hermandad.

Agricultura.

La agricultura de los siglos XIV y XV era fundamentalmente la misma que la de la época romana. Durante la Edad Media no se han producido cambios tecnológicos de importancia en este campo. El utillaje era muy elemental: arado romano tirado por bueyes, hoz, guadañas, etc., generalmente de madera y hierro; y hechos en la misma

2. El Honrado Concejo de la Mesta de Pastores fue creado en 1273 por Alfonso X el Sabio, reuniendo a todos los pastores de León y de Castilla en una asociación nacional y otorgándoles importantes prerrogativas y privilegios tales como eximirlos del servicio militar, de testificar en los juicios, derechos de paso y pastoreo, etc.

3. Asociación de pastores que controlaba hasta el más nimio detalle de la ganadería lanar trashumante en la Corona de Castilla durante la Baja Edad Media y la Edad Moderna.



aldea. Sin embargo, sí se difunde el molino hidráulico y el de viento, según zonas, y algunas de las invenciones árabes.



Ilustración del s.XIV donde se puede observar la agricultura de la época.

El sistema de cultivos, predominante, es extensivo de secano. Se cultiva, principalmente, cereal, en sistema de barbecho. En las zonas de mayor población musulmana, o de origen musulmán, se cultivaba de manera intensiva y con regadío las huertas de frutas y hortalizas.

Pesca.

En la Edad Media, en la Europa medieval era imposible transportar el pescado fresco a distancias considerables. Sólo en los propios lugares de pesca o en otros muy próximos era posible encontrar pescado fresco de procedencia marina.

En el interior tan sólo cabía la posibilidad de obtenerlo de las aguas dulces, que desempeñaban en aquel entonces un papel mucho más importante a este respecto que hoy. Los peces comerciales de mayor importancia en el Norte de Europa eran, al igual que hoy, el arenque y el bacalao. La sal se convirtió en una materia prima de gran importancia. El agua de mar era llevada a salinas, donde, bajo la acción del sol y del viento, se evaporaba cristalizando la sal. En los países del Norte de Europa, poco soleados, la evaporación se efectuaba calentando el agua del mar, con fuego de leña o carbón, dentro de grandes recipientes especiales. Los bosques de Inglaterra, Holanda y Dinamarca fueron las víctimas de esta explotación devastadora.

A finales de la Edad Media la sal fue gravada con un pesado impuesto, como lo son en nuestros días el tabaco y el café; ello dio lugar a un comercio clandestino contra el cual se dictaron medidas de control y leyes.



Industria.

En general, la política industrial de los reinos peninsulares de los siglos XIV y XV es proteccionista⁴. Pero también depende de la coyuntura económica. La conclusión de la Reconquista significó el fin de los beneficios de guerra y de las parias.

El siglo XIV conoce el auge económico e industrial de Aragón, en Cataluña. En Barcelona se empiezan a elaborar paños de lana en grandes compañías, y su mercado natural es Castilla. La guerra civil por la sucesión de Juan II, entre 1462 y 1472, supone la ruina de la industria; pero todo el siglo XV es para Aragón un periodo de crisis. Caen en crisis las industrias rurales, y los productos extranjeros invaden los mercados aragoneses. Pero la gran estrella de la industria castellana era la siderurgia vasca, de gran calidad, que se exportaba a toda Europa.

Transporte y comercio.

El transporte y las comunicaciones son deficientes, a pesar del relativo auge que experimenta el comercio. Gracias a la diversidad ecológica de la península son muchos los productos de intercambio. Los caminos no son seguros, y están en mal estado. El relieve y el clima de la península dificultan la conservación de los caminos.

La red de caminos y vías pecuarias es la misma que la de la época romana; con las mejoras introducidas por los árabes y a las que se añaden la red de cañadas, cordales y veredas que utiliza la trashumancia.

Los Reyes Católicos palian esta situación con la creación, en 1476, de la Santa Hermandad⁵(o Hermandad General) y la construcción de una red de postas,

4. El proteccionismo es el desarrollo de una política económica en la que, para proteger los productos del propio país, se imponen limitaciones a la entrada de similares o iguales productos extranjeros mediante la imposición de aranceles e impuestos a la importación que encarezcan el producto de tal suerte que no sea rentable.

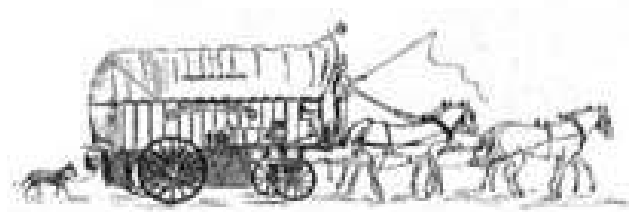
5. Institución creada para controlar la seguridad de los caminos en el Reino de Castilla. Es, probablemente, el primer cuerpo policial de Europa.

6. En 1497 los Reyes Católicos promulgan la Ordenanza sobre la Real Cabaña de Carreteros por la que se organiza el transporte a larga distancia.



ventas y nuevas poblaciones. También crearon la Real Cabaña de Carreteros⁶, para privilegiar a los transportistas.

Los transportistas son arrieros y carreteros, cada uno especializado en un tipo de transporte. El caballo es el transporte rápido, y el buey y la mula el animal de tiro de las carretas. Se transportan mercancías de poco peso y alto valor añadido. Frecuentemente, el mercader y el transportista son la misma persona, y viaja en caravana como buhonero. El comercio internacional está copado por el transporte marítimo.



Carruaje muy común de la época, dedicado al transporte de mercancías.

El comercio tuvo mucho que ver con los orígenes de la Era de las Exploraciones. Se trataba de encontrar una ruta marítima hacia Asia para traer a Europa occidental las especias de Oriente, que hasta ese momento llegaban por tierra, en caravanas que tenían que cruzar los territorios de los países asiáticos, y cuyo comercio en Europa era prácticamente un monopolio de los mercaderes italianos, fundamentalmente venecianos y genoveses.

3.4.- Aspectos tecnológicos y de la ingeniería mecánica.

La etapa tardía de la Edad Media experimentará un importante cambio de percepción hacia la naturaleza, manifestado, en principio, en una nueva acuciosidad por explorarla. Los renacentistas, a diferencia de la mayor parte de los hombres medievales, no evitaban las montañas, las escalaban y extraían de ellas elementos dignos de ser estudiados y analizados. Leonardo Da Vinci⁷ descubrió fósiles de los que hizo interpretaciones geológicas; los herbarios y tratados de historia natural, surgidos a partir del siglo XV, representaban igualmente una nueva actitud tanto teórica como práctica ante el mundo natural. El redescubrimiento de la naturaleza en su conjunto y en sus posibilidades, estimulado por la dinámica que imprimieron las rutas comerciales expandidas desde las Cruzadas y los viajes de Marco Polo,

7. Leonardo di Ser Piero da Vinci (Anchiano, Italia, 15 de abril de 1452 – Castillo de Clos-Lucé Francia, 2 de mayo de 1519) fue un arquitecto, escultor, pintor, inventor, músico, ingeniero, el hombre del Renacimiento por excelencia. Está ampliamente considerado como uno de los más grandes pintores de todos los tiempos y quizá, la persona con más y más variados talentos de la historia



establecieron un nuevo parámetro signado por la apreciación de que ésta existía para ser explorada, invadida y entendida.



"Autorretrato" Leonardo da Vinci. Leonado da Vinci es para muchas personas el prototipo de hombre del renacimiento, de hombre que cultivó el arte, el pensamiento, la ciencia y la tecnología.

Esta nueva visión sobre el orden de los fenómenos y las cosas, tendrá un gran impacto en el acopio de conocimientos y en las posibilidades de desarrollo de la tecnología. Si bien los siglos XV y XVI representan, en cuanto a ciencia y tecnología, el prolegómeno a las más sustanciales e importantes transformaciones que ocurrirán a partir del siglo XVII y particularmente durante el siglo XVIII, son, por derecho propio, una época de cambios relevantes. Basta indicar que desde las primeras décadas de 1400 en adelante y durante poco más de un siglo se inicia la era de las exploraciones y descubrimientos geográficos, culminando por abarcar toda la tierra, estrechando el mundo y convirtiéndolo en una unidad geográfica, antecediendo a la ampliación económica y política derivada de este hecho.

El Descubrimiento de América, al renovar la visión cosmológica, asestó un duro golpe al enfoque prevaleciente desde hacía siglos, asentado en los trabajos de Tolomeo⁸. Esta

renovación influyó en los conocimientos astronómicos y en la estimación del verdadero tamaño del planeta. El clérigo y astrónomo polaco Nicolás Copérnico, al escribir "De revolutionibus orbium coelestium" en 1543, y dar inicio a la nueva cosmografía, despojando a la tierra de su papel central en el universo, estuvo influido por los hallazgos geográficos que venían a confirmar indirectamente sus teorías. Igual sucedería con la biología; la inmensa variedad de especies florales, vegetales y animales encontradas en América por primera vez, cambió profundamente la perspectiva de los sabios respecto al orden natural, transformando no sólo el carácter de los estudios biológicos sino también, de forma más profunda y duradera, la farmacia, la medicina, la alimentación y la industria.

8. Tolomeo creía que la Tierra estaba inmóvil y ocupaba el centro del Universo, y que el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas, giraban a su alrededor.





Imprenta en el siglo XV.

A lo largo de los siglos XV y XVI ocurre un proceso de mejoras técnicas significativas en la agricultura, la metalurgia, la tecnología naval y la guerra. Estos desarrollos tecnológicos estaban relacionados entre sí, y con el establecimiento de las rutas comerciales en el interior europeo, en el ámbito mediterráneo, con la apertura de las rutas transoceánicas entre Oriente y Occidente, y posteriormente con el Nuevo Mundo. Como ya se ha indicado, la transferencia a Europa de los conocimientos e inventos acumulados durante siglos por los sabios y tecnólogos chinos, árabes, persas e hindúes, sirvieron, hasta cierto punto, de base previa para el desarrollo endógeno de algunas de estas técnicas. Entre los conocimientos se cuentan el álgebra, la astronomía, medicina y química; entre los inventos el papel y la brújula magnética de China, diques y sistemas de irrigación del mundo islámico.

El desarrollo explosivo de las rutas de comercio sólo se produjo porque ya existían, particularmente en el campo de la navegación, avances tecnológicos que posibilitaron la circulación ultramarina. Una

vez iniciado el proceso de descubrimiento y exploración de nuevas tierras y nuevos recursos, la agricultura, la tecnología naval, la minería y la tecnología bélica, continuaron mejorando, atendiendo a las necesidades y retos que planteaba la explotación a una mayor escala de estos recursos. Las mejoras en la agricultura posibilitaron la introducción y explotación efectiva de los nuevos cultivos americanos y asiáticos; los progresos en la navegación (barcos más sólidos, incorporación de la brújula, el astrolabio, el timón) acrecentaron la capacidad del transporte interoceánico; el avance técnico en metalurgia para la explotación de las minas europeas, revistió en la posibilidad de explotar posteriormente de manera eficiente los inmensos yacimientos encontrados en las tierras americanas. Así mismo, la incorporación de artillería de mayor poder de fuego en los conflictos terrestres y navales, le otorgó superioridad bélica a las naciones de Europa occidental frente a las demás civilizaciones, particularmente frente a la resistencia de los pueblos indígenas.

En paralelo a la evolución de estas técnicas, necesarias para la mejor dominación de tierras y recursos, se produce la importante innovación de la imprenta. La técnica de publicación de libros con tipos móviles de impresión, mediante el perfeccionamiento



de la prensa de imprenta por Gutenberg⁹ y sus ayudantes en Maguncia hacia 1440, extrapoló las posibilidades de reproducir el acervo de conocimientos existentes hasta cotas impensables para una sociedad que ya había aumentado ampliamente su producción de material escrito y lo anhelaba vivamente. La imprenta provocó una difusión más expedita de las nuevas ideas y conocimientos resultantes de las exploraciones y descubrimientos. Además, como lo considera Mumford¹⁰ (1971), propició mejoras a partir de este logro mecánico, puesto que irradió hacia la producción de otras manufacturas, teniendo en cuenta que la imprenta fue una de las primeras máquinas estandarizadas, manufacturada en serie, y los mismos tipos móviles fueron el primer ejemplo de piezas del todo estandarizadas e intercambiables. Hacia finales del siglo XV habían más de mil imprentas públicas solamente en Alemania, y en Núremberg existía un gran negocio de imprenta con 24 prensas y un centenar de empleados entre los que se encontraban cajistas, impresores, encuadernadores y correctores.

Los cambios en materia de técnicas agrícolas se introdujeron de forma irregular si se considera Europa en su totalidad, puesto que en muchas regiones dichos cambios no se hicieron efectivos sino posteriormente, como es el caso de Inglaterra. Las regiones más pobladas, como Italia y los Países Bajos, que contaban además con zonas muy fértiles, fueron las primeras en experimentar progresos en su agricultura. Estos se refieren al empleo de mejores molinos de agua para el avenamiento de tierras, la introducción de técnicas de desecado y el establecimiento de un mejor equilibrio entre el ganado y los cultivos, haciendo más eficiente el procedimiento de obtener algunos cultivos específicamente para alimentar al ganado, el cual a su vez proveía el abono para la tierra. En algunas zonas del sur de España se tenían, hacia el siglo XVI, algunos cultivos que dependían de la irrigación, por lo cual se construyeron y mejoraron los diques que permitían incorporar más tierras para esos rubros.

Otro aspecto importante de los cambios agrícolas del siglo XVI fue la introducción de nuevos cultivos originarios de América y de Asia. Particularmente adaptables a las tierras europeas de España e Italia resultaron los vegetales americanos como las patatas, el tomate y el maíz. En 1573 el cultivo local de patata ya se encontraba en los mercados de Sevilla. Del Mediterráneo oriental llegaron, para ser cultivados en Italia, trigo de Turquía, los albaricoques y la alcachofa redonda. Estos progresos

9. Johannes Gutenberg (hacia 1398 - 3 de febrero de 1468) fue un herrero alemán inventor de la imprenta de tipos móviles en Europa (hacia 1450). Su mejor trabajo fue la Biblia de Gutenberg.

10. Lewis Mumford (Nueva York, 1885 - América, 1990). Sociólogo y urbanista estadounidense. Se ocupó sobre todo, bajo una visión histórica y regionalista, de la técnica, la ciudad y el territorio; destacan en particular sus análisis sobre utopía y ciudad Jardín.



exigieron nuevos conocimientos de ingeniería, tanto para el drenaje de la tierra, así como para la construcción de granjas. Las venecianas destacan por su diseño y funcionalidad, convirtiéndose en modelo para la distribución útil de la tierra entre el espacio habitable, los cobertizos y los graneros. En el ámbito específico de la cría de ganado, particularmente del ovino, los progresos fueron notables. La producción de pieles, de leche, de quesos, y, especialmente, de lana, fue incentivada por la creciente demanda de estos rubros, debido fundamentalmente a la diversificación del régimen alimenticio y los requerimientos de las fábricas de paño flamenco y florentino. Hacia mediados del siglo XIV se habían logrado mejoras en las razas de pelo largo inglesas, con el objeto de adaptarlas a las exigencias de la industria textil flamenca y posteriormente la italiana.

Desde 1450, aproximadamente, los alemanes sentaron las bases para la explotación de la minería y el trabajo con metales, mediante nuevos métodos y técnicas. Que haya sido en esta región donde se comenzaron a perfeccionar éstas no debe resultar extraño, puesto que en el este y sur de lo que hoy es Alemania se encontraban para la época algunas de las mayores minas ricas en metales. Dos de los centros más avanzados eran Augsburgo y Núremberg, lugares donde floreció la imprenta (a partir del uso de letras de plomo y estaño fundidos), la relojería, la manufactura con estaño y la forja de armas de fuego, así como también las más tradicionales manufacturas de tejidos. Augsburgo era una importante ruta comercial interior europea en el siglo XV y daba a los comerciantes del sur de Alemania un acceso fácil a Venecia. Durante la primera mitad del siglo XVI una incipiente transferencia de la tecnología de minas y de metalurgia se desarrolló en dos sentidos: en el continente americano, para la explotación de las minas de plata de México y del Potosí, y en el interior de Europa. Por ejemplo, algunos técnicos alemanes fueron enviados a minas de España por banqueros de Augsburgo, donde contribuyeron con en el desarrollo en la construcción de una máquina de bombeo de agua en Toledo. En Inglaterra, los mineros alemanes enseñaron las técnicas de construcción de rieles, usados principalmente en la superficie para llevar carbón desde las minas a los barcos en los ríos más cercanos, y de maquinaria de energía hidráulica para la trituración en las minas de estaño.

Había muchas otras técnicas metalúrgicas que se estaban mejorando durante ese período en toda Europa. Por ejemplo, estaban las artes de aquilatar y derretir metales, cuyo conocimiento contribuyó al temprano progreso de la química. El derretimiento aportó una experiencia empírica sobre las reacciones químicas, pero el hecho más resaltante es que el uso de esta técnica implicaba pesar pequeñas cantidades de metales con gran exactitud. La técnica de observar la evolución del metal desde un proceso a otro, pesando cuidadosamente en cada etapa, fue utilizada posteriormente en los inicios de la química moderna, puesto que la base de una



buena experimentación química suponía calibrar el peso correcto de los elementos tanto metálicos como no metálicos.



Por supuesto, fue en el campo de la fabricación de armas donde las técnicas metalúrgicas evolucionaron más rápidamente, vista la enorme demanda de artillería que suponían los conflictos tanto al interior de Europa como fuera de ella. Las forjas a fuelle para producir el hierro fundido estaban funcionando desde 1460 aproximadamente, posibilitando la fundición de cañones de hierro, rivalizando en eficacia con los cañones de bronce. Una vez conseguidas las primeras mejoras técnicas respecto a la resistencia de los cañones, se prestó particular atención a las limitaciones de las gigantescas bombardas, por lo cual se evolucionó hacia la consecución de técnicas que permitieran la elaboración de cañones de menor calibre y de mayor movilización.

Mucho antes de los viajes de exploración y descubrimiento, los europeos habían desarrollado una alta inventiva y técnicas sofisticadas en la construcción de barcos.

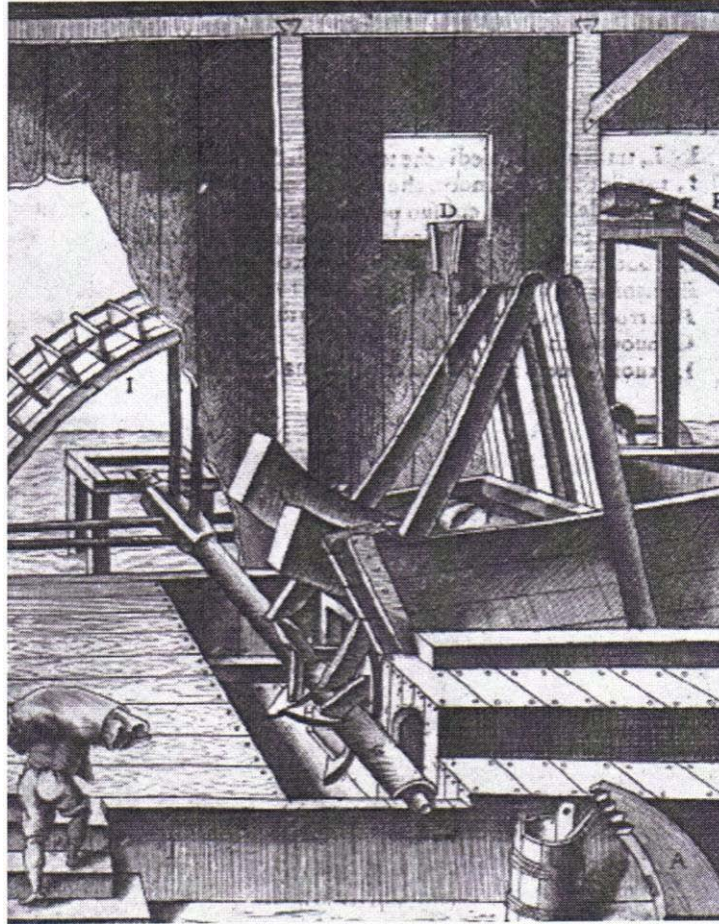
3.5. - Mecanismos usados en los principales sectores productivos

3.5.1.- Agricultura:

El sector de la agricultura se desarrolla mayormente en un entorno rural y este mundo rural también se beneficia del diseño de máquinas para elaborar sus productos. Gracias a estas máquinas se desarrollan verdaderas industrias que permiten el desarrollo de sectores como la lana, la harina o el vino.



Un modelo de Zonca¹¹, utilizado para lavar la ropa de lana, utiliza una rueda de agua que mueve un árbol motor con unas levas primitivas pero eficaces, que impulsan unas palas que sirven para golpear la lana y limpiarla.

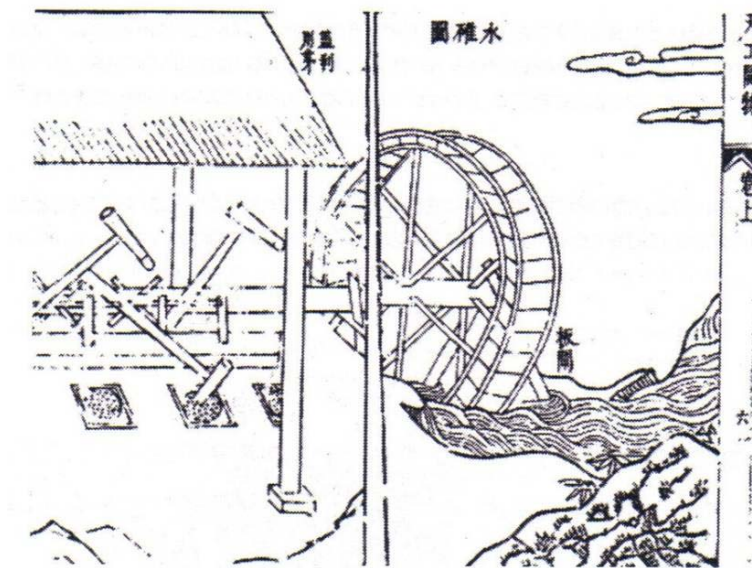


Máquina para lavar ropa de Zonca, "Novo teatro di machina et edificio".

Esta máquina en Europa era algo nuevo y novedoso, pero los chinos la llevaban utilizando siglos antes. Es el martillo pilón, utilizado para machacar minerales, semillas, y también en la industria metalúrgica.

11. Vittorio Zonca, (1568 -1602), fué un arquitecto y mecánico italiano que habiéndose aplicado temprano el estudio de las matemáticas y de la arquitectura, hizo progresos rápidos, y fue honrado con el título de arquitecto de la ciudad de Padua. La vista de la colección de máquinas de Agostino Ramelli le inspiró el gusto de la mecánica.





Martillo pilón hidráulica de "Nong Shu".

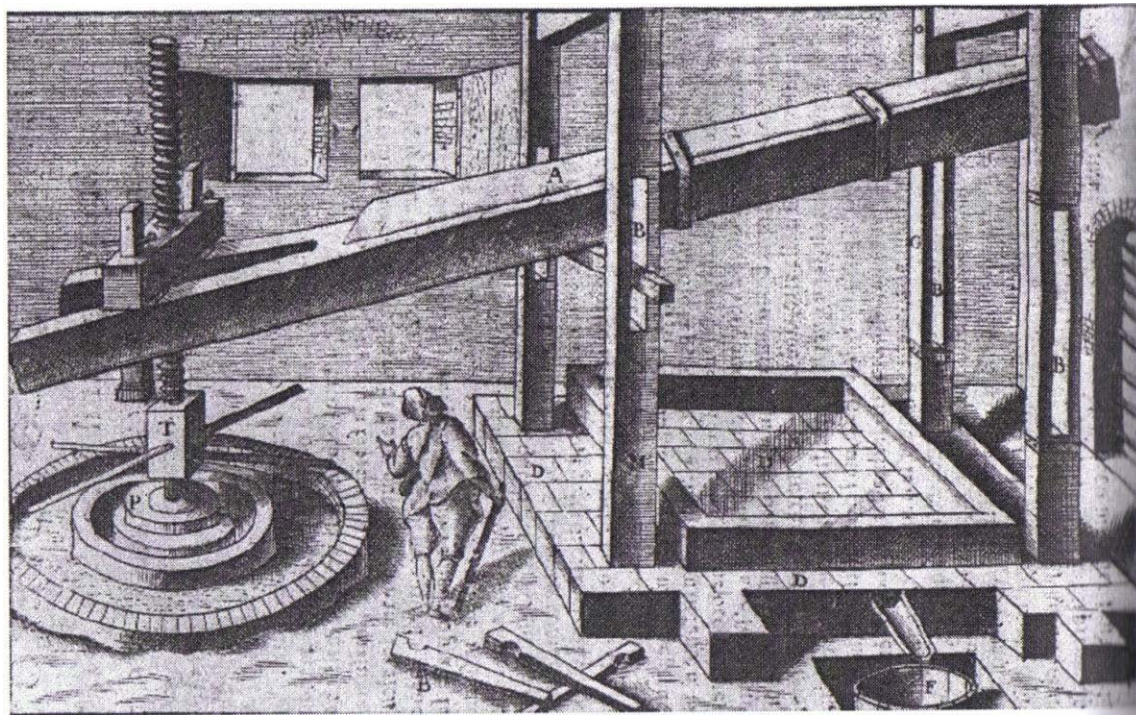


Martillo pilón hidráulico de "Thien Kung Khai Wu".

Zonca también realizó unas ilustraciones de prensas para hacer vino. En la imagen de a continuación podemos ver una prensa de presión directa y de gran capacidad.



Sobre la base se coloca la uva a prensar, bajo un tablón aprisionado debajo de un gran vástago. Al girar la manivela, se produce el prensado, se incrementa la presión del vástago y el jugo de las uvas se recoge en un balde.

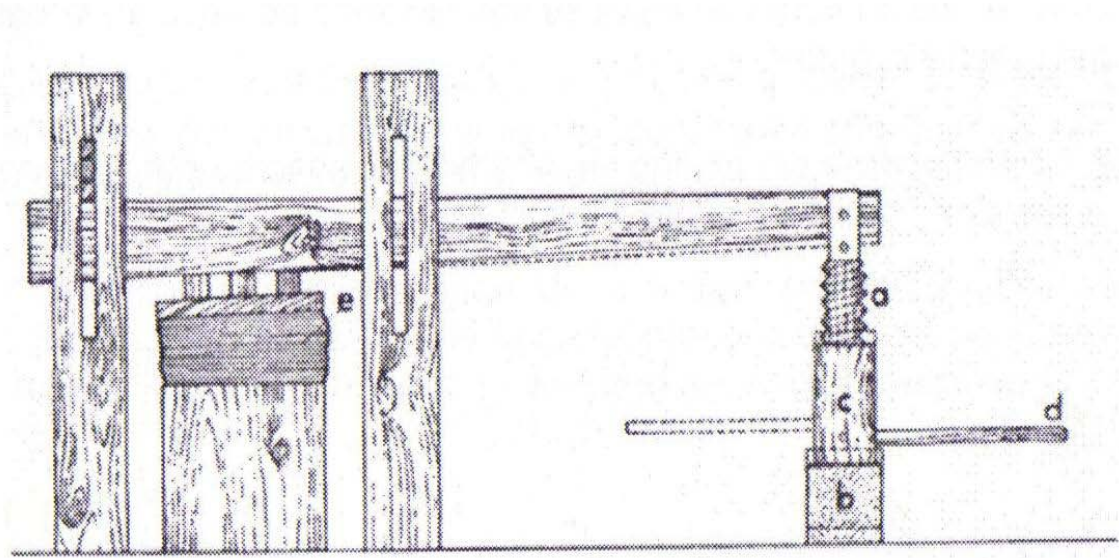


Máquina para hacer vino de Zonca, “Novo teatro di machine et edificio per uarie et sicure operationi”.

Pero al igual que la máquina para lavar lana, este mecanismo también fue descrito mucho antes por Herón¹². Herón muestra el conocimiento sobre el tornillo y describe prensas de diversos tipos. Las reconstrucciones de Sigvard Strandh muestran su utilidad para el prensado de fruta. En la figura que se muestra a continuación, el tornillo acciona una viga para producir el prensado mediante el desplazamiento vertical de travesaño.

12. Herón (o Hero) de Alejandría (aproximadamente año 10 dC. - alrededor del año 70) fue un ingeniero griego, que destacó en Alejandría. Desplegó una actitud casi moderna para la mecánica, descubriendo de forma arcaica la ley de acción y reacción, mediante experimentos con vapor de agua. Describió un gran número de máquinas sencillas y generalizó el principio de la palanca de Arquímedes.





Prensa de travesaño de Herón, reconstrucción de Sigvard Strandh.

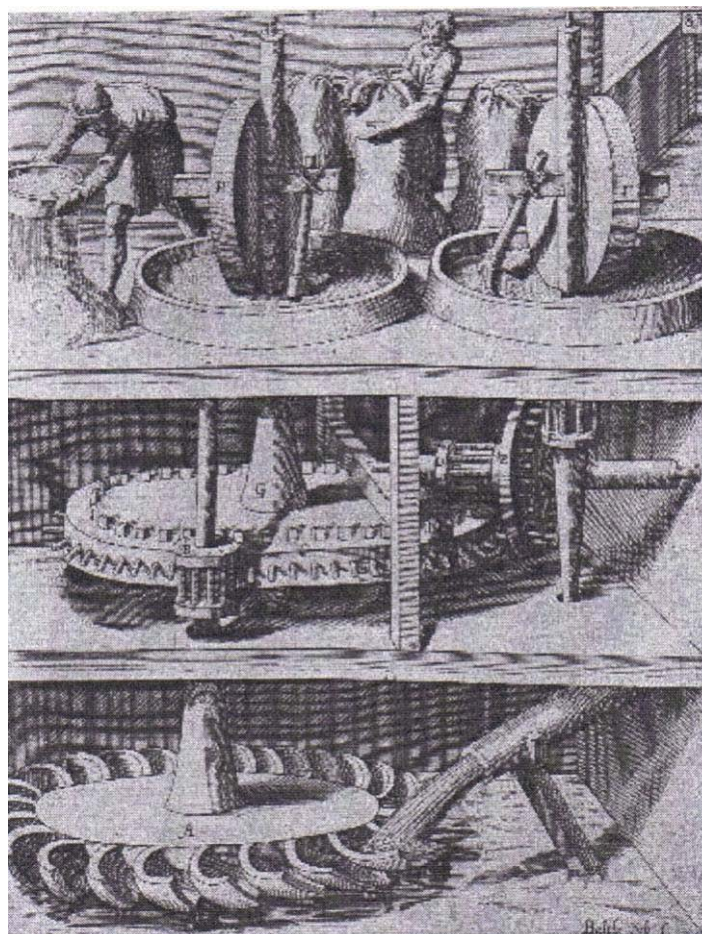
Podemos observar claramente las similitudes de estos dos mecanismos. Las máquinas de Zonca son muy simples y no aportan una gran evolución de la mecánica, pero eran máquinas reales que se utilizaban en aquella época para tareas cotidianas. En ellas se busca la eficiencia y utilidad.

Otra máquina de la época que destaca es el molino harinero común de Jacobus Strada¹³. Se utiliza una rueda hidráulica horizontal; que está constituida por álabes en forma de cuchara, buscando que el caudal penetre en la cuchara y salga en dirección adecuada para conseguir el mayor rendimiento.

La rueda mueve un eje, en el cual hay situada una linterna que engrana con una gran rueda horizontal. En ella se divide la potencia transmitida, entre dos ruedas de moler, situadas en la parte superior de la imagen. Podemos ver la importancia del agua como motor de movimiento en todos estos mecanismos. En aquella época, las principales fuentes motoras para la obtención de la fuerza necesaria para mover las máquinas y hacerlas funcionar correctamente, se obtenía principalmente de la fuerza del agua y de la tracción animal.

13. Jacopo Strada (nacido en 1507 en Mantoue, muerto en 1588 en Viena) era, como pintor, arquitecto, orfebre, inventor de máquinas, numismático, lingüista, coleccionista y vendedor de arte, uno de estos creadores a los talentos múltiples que marcaron el Renacimiento.





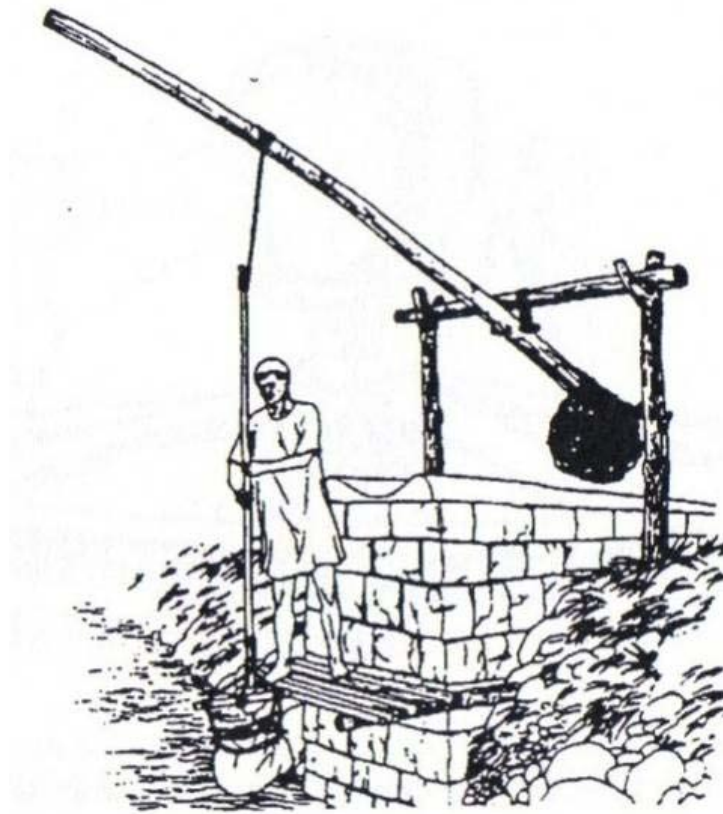
Molino harinero de Strada, de "Kunstliche Abrís allerhand Wasser".

La agricultura extensiva lleva implícito el regadío. El agua era fundamental para regar los cultivos y para el consumo, tanto de humanos como del ganado. Por lo tanto el problema de la obtención de esta o el elevarla hacia donde era necesaria planteó el diseño de nuevas máquinas de muy diversos tipos.

La primera máquina para elevación de agua desde pozos o cauces de ríos, se basa en el uso de la palanca, utilizando la gravedad para ayudar al esfuerzo humano. Esta máquina¹⁴ se sigue usando hoy en día en algunos países.

14. Esta máquina se conocía como shadoof o shaduf, una máquina simple que, usada a modo de palanca, sirve para subir agua desde un río, canal, depósito o un pozo. Esta agua se emplea para regar, para uso doméstico y de los animales. La palabra shaduf es de origen árabe. Tiene su origen en el neolítico. Aunque se atribuye al *shaduf* un origen Egipcio, datándose el inicio de su uso durante el Imperio Nuevo (c. 1550-1070 a. C.), ya figuraba en relieves y sellos cilíndricos de Mesopotamia (datados entre 2500 y 3000 a. C.). También se encuentra representado en Mohenjo-Daro, India (c. 2500 a. C.).





Sistema de extracción de agua con palanca y contrapeso.

Este mecanismo es muy simple pero de gran utilidad. Esto lo podemos ver porque ha sido utilizado en todas las civilizaciones de manera similar según las siguientes ilustraciones.

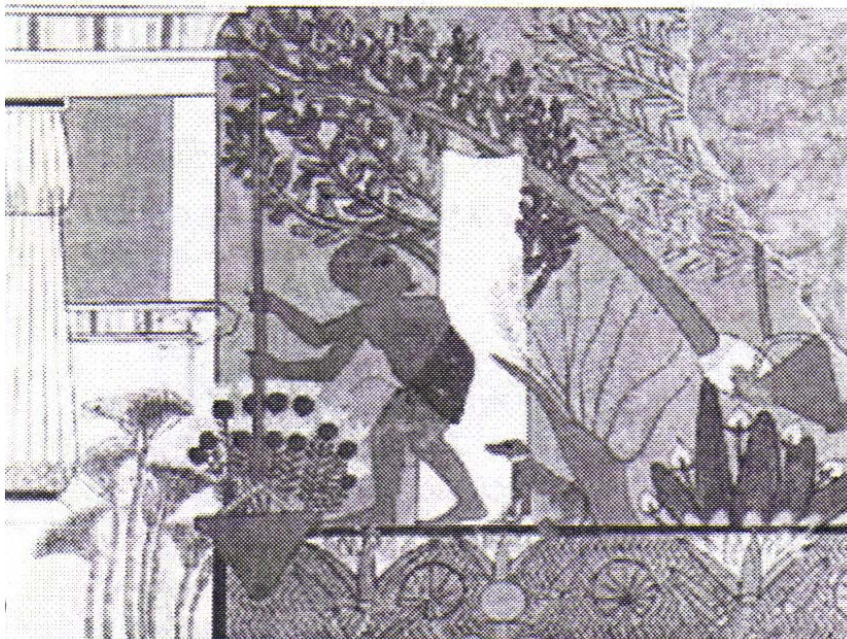
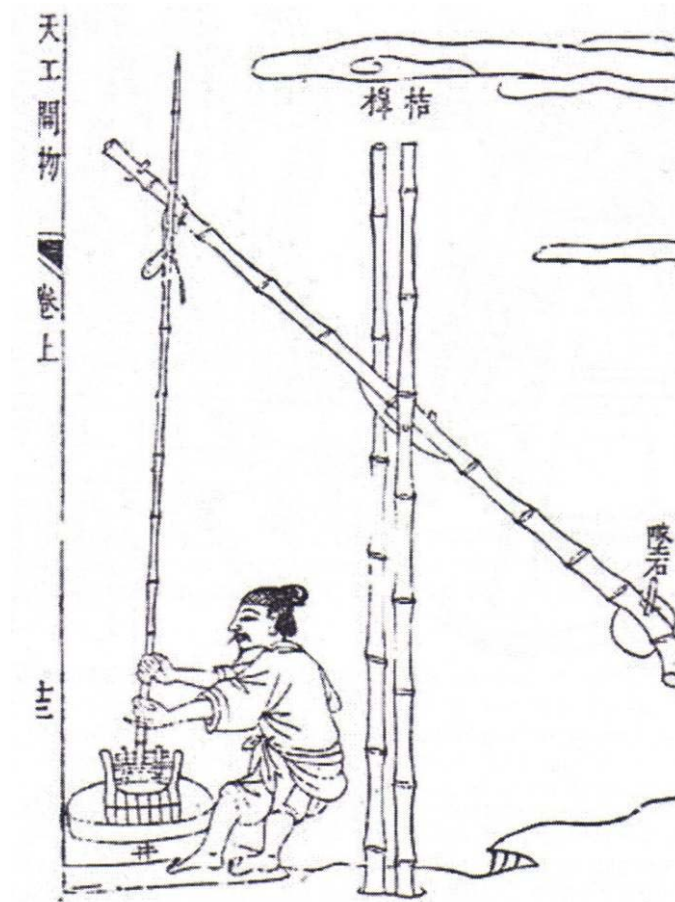


Ilustración de la época de Ramsés II.





Contrapeso usado por los granjeros chinos para sacar agua.

Otro mecanismo que perduró igual desde la antigüedad hasta el Renacimiento fue el tornillo de Arquímedes¹⁵.

El movimiento helicoidal¹⁶ es conocido en la Antigua Grecia desde Arquímedes (287- 212 a.C.), quien diseña el tornillo helicoidal para elevar un flujo de agua a través de los intersticios entre la hélice y una carcasa exterior.

15. Arquímedes (Siracusa, Sicilia, 287 - 212 a.c.), matemático y geómetra griego, considerado el más notable científico y matemático de la antigüedad, es recordado por el Principio de Arquímedes y por sus aportes a la cuadratura del círculo, el estudio de la palanca, el tornillo de Arquímedes, la espiral de Arquímedes y otros aportes a la matemática, la ingeniería y la geometría.

16. Movimiento en forma de hélice como el que se produce en un torbellino.





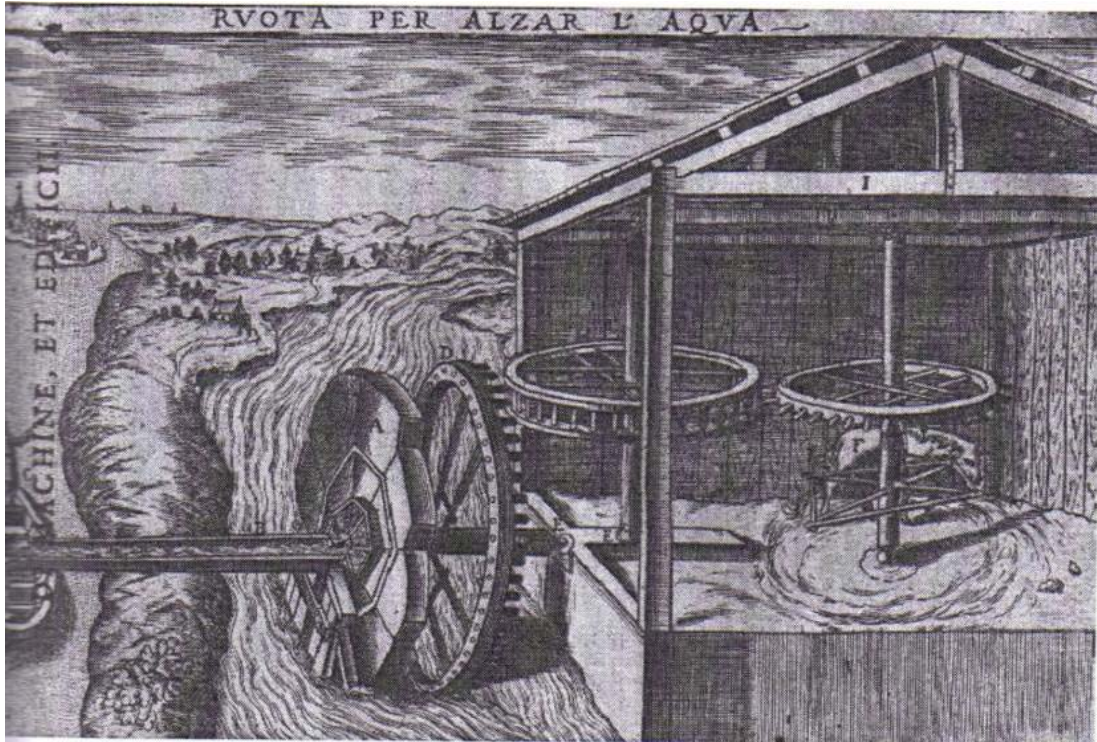
Ilustración del tornillo de Arquímedes, reproducida en el Renacimiento por Daniele Bábaro.

No todos los mecanismos de extracción de agua vienen de la antigüedad; en el renacimiento se produjeron muchos ingenios y múltiples diseños de máquinas hidráulicas.

En la siguiente máquina, gracias a la propulsión de un caballo, el engranaje mueve la rueda que recoge el agua y hace que ésta caiga por el canal donde es fácilmente recogida. Se usa una rueda con canales interiores de forma que el líquido llega a un canal de recogida. Puede observarse que la corriente del agua



va en sentido contrario al de giro de la rueda que recoge agua, por lo que se emplea un caballo como elemento motor de la máquina.

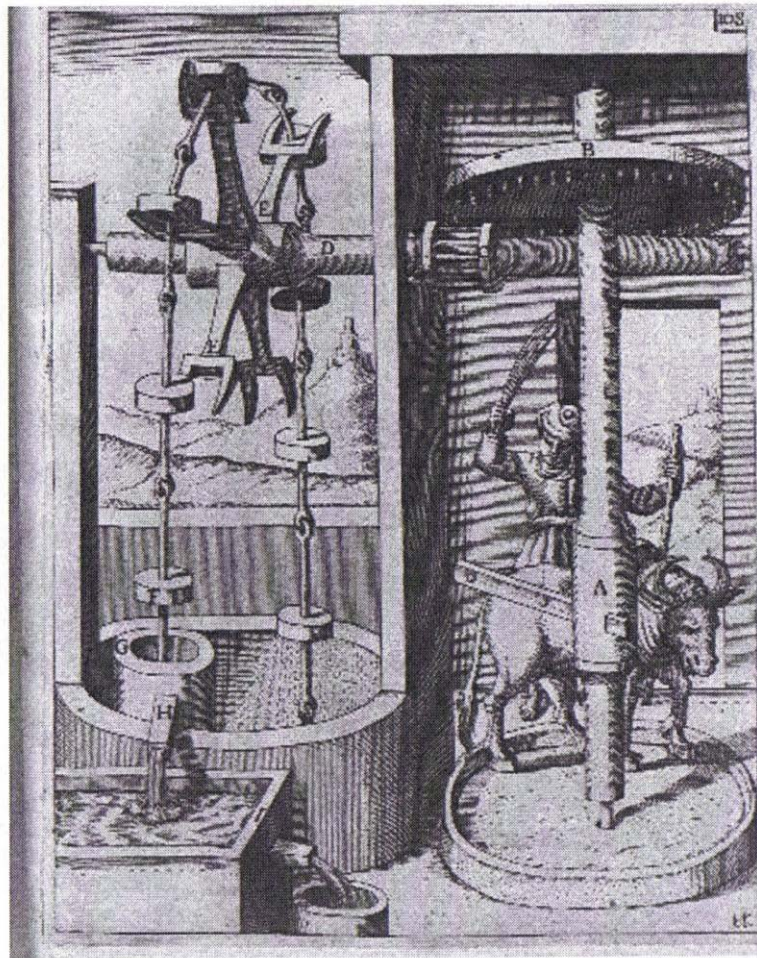


Molino de Zonca, de "Novo teatro di machine et edificio".

Otro diseño innovador corresponde a Georg Böckler¹⁷, para elevar agua de un pozo. La tracción animal mueve un engranaje. El giro de la linterna arrastra a un eje con radios diseñados para conducir émbolos cilíndricos, unidos entre sí por medio de barras articuladas a modo de cadena. Los émbolos pasan a través de un cilindro hueco, insertado en el pozo, con un radio interior superior al de los émbolos. La cadena de émbolos pasa por el interior del cilindro hueco y va arrastrando al agua hacia arriba y al exterior mediante un grifo conectado al cilindro hueco. La principal dificultad de esta máquina es la fricción en el contacto entre el cilindro y los émbolos.

17. Georg Andreas Böckler (1644-1698), fue un arquitecto e ingeniero alemán, quien escribió *Architectura Curiosa Nova* (1664) y *Theatrum Machinarum Novum* (1661). En Nuremberg se especializó en la arquitectura de las máquinas hidráulicas.



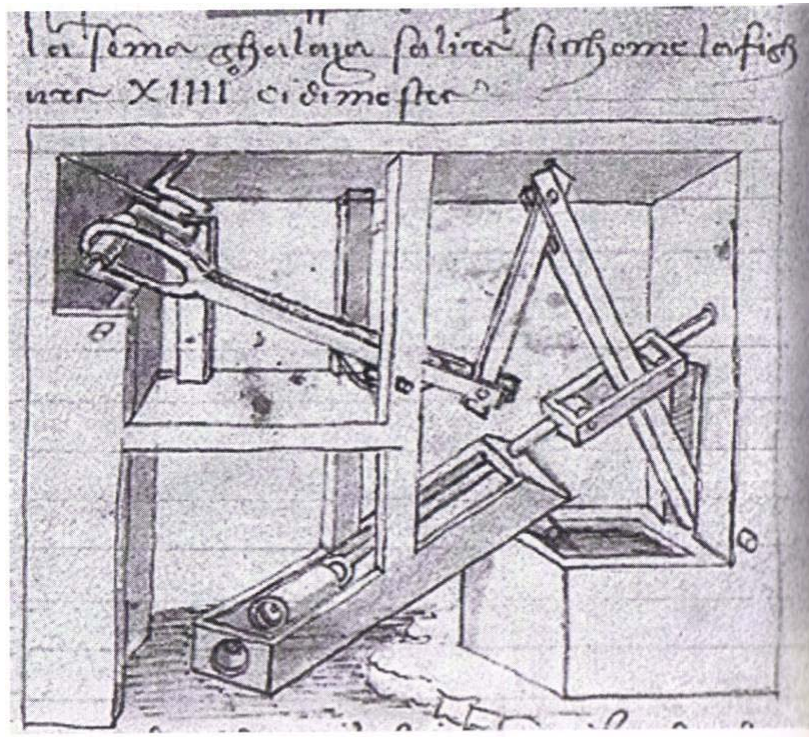


Máquina para extraer agua de Bockler.

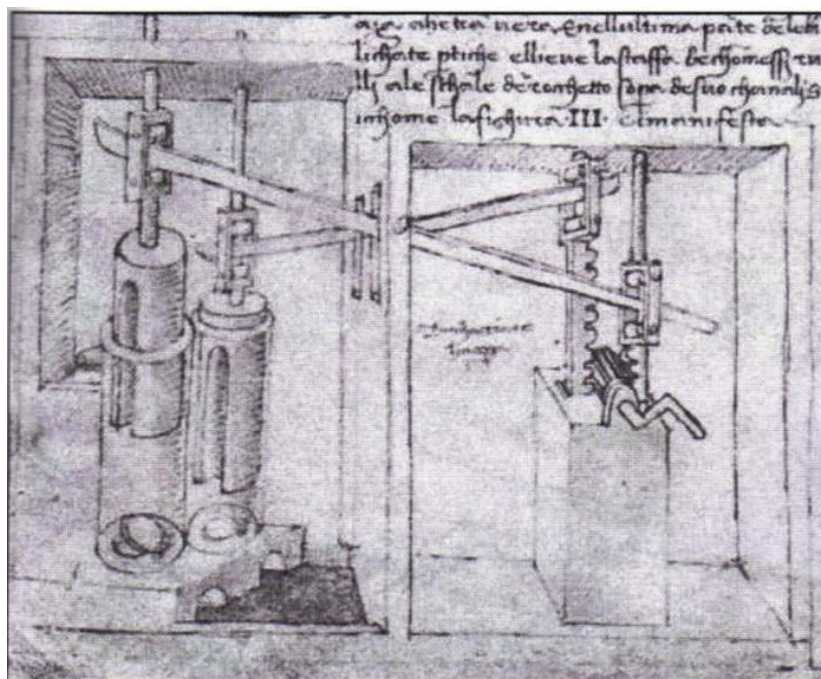
También cabe destacar a Francesco di Giorgio¹⁸, que en su “Trattato di architectura e machine”, explica de forma teórica los principios de las máquinas hidráulicas. Sus modelos se basan sobre todo en máquinas de succión de agua que luego la dirigen hacia canales o cubetas.

18. Francesco di Giorgio, realmente Francesco di Giorgio Martini (* Siena; 14 de noviembre 1439 - † ídem, 1502), arquitecto, escultor y pintor italiano.





Teoría sobre bombas escrita por Di Giorgio, del "Trattato di architectura e machine".



Máquina para succionar agua de Di Giorgio, del "Trattato di architectura e machine".

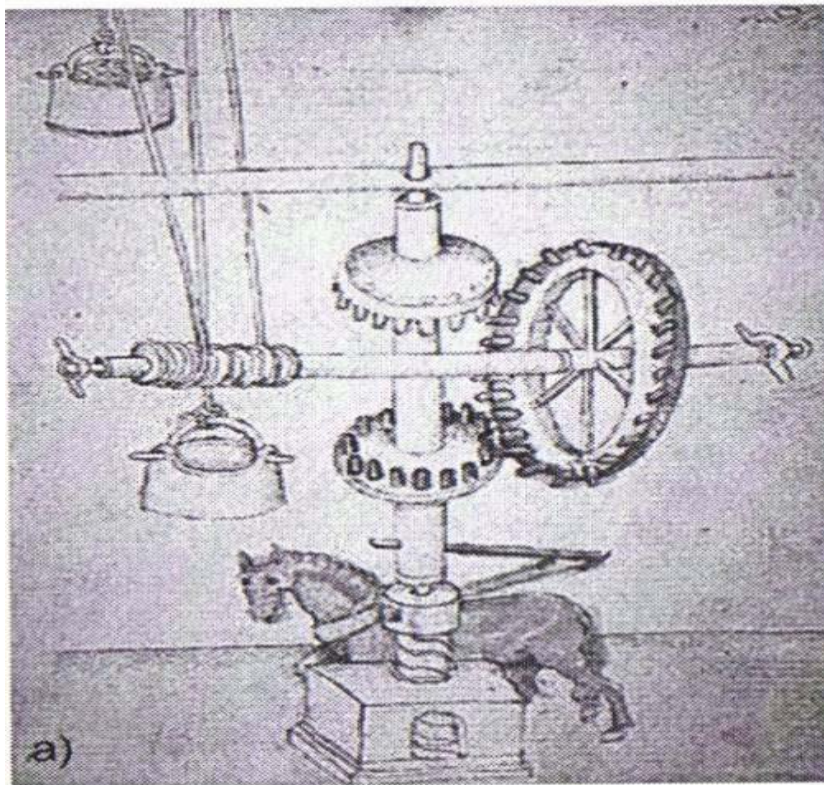


3.5.2.- Construcción

En el sector de la construcción, el papel fundamental que empleaban las máquinas era el de elevación de cargas para obras arquitectónicas.

La figura está basada en Brunelleschi¹⁹ y muestra un sistema elevador con tracción animal. Es posible ver la magnitud de la máquina, por la relación de tamaños entre la máquina y el caballo.

El caballo produce la rotación del eje vertical al que está unido un tornillo y produce el movimiento de otras dos ruedas dentadas horizontales. Ambas ruedas, con su rotación, transmiten el giro a una rueda dentada vertical que acciona un dispositivo de cuerda y polea. Al estar la tuerca del tornillo fijada en la base, el movimiento del caballo produce el ascenso del propio eje vertical. Brunelleschi utiliza este sistema para mejorar la operación de elevación.



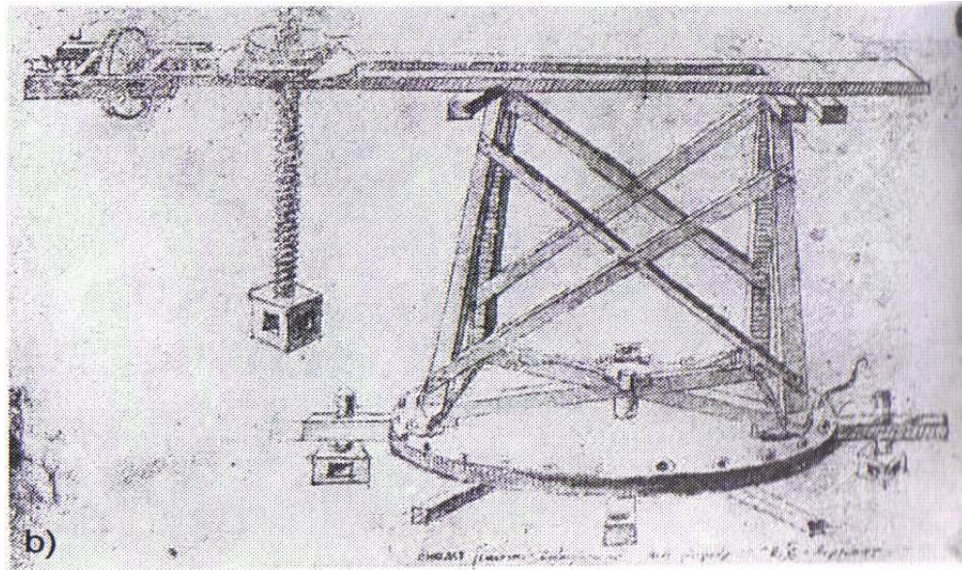
Grúa accionada por caballo.

19. Filippo Brunelleschi (*Florencia 1377 - †15 de abril de 1446). Arquitecto, escultor y orfebre. Fue conocido, sobre todo, por su trabajo en la cúpula de la catedral de Florencia Il Duomo, y profundos conocimientos matemáticos y su entusiasmo por esta ciencia le facilitaron el camino en la arquitectura, además de llevarle al descubrimiento de la perspectiva, la clave del arte del Renacimiento.



Otra máquina para elevación es la de Giuliano da Sangallo. En la imagen se puede observar la sencillez de la máquina, que se basa también en el uso de un tornillo para el ascenso de la carga y de otro para el desplazamiento radial. Además permite la rotación completa de la estructura de la grúa.

De esta manera, se permite la realización de manera independiente de los movimientos de elevación, desplazamiento radial y rotación de la carga.



Grúa de Giuliano da Sangallo.

Leonardo da Vinci también realizó varios diseños de grúas similares; como ejemplos:



Reconstrucción a escala de una grúa doble giratoria, Leonardo da Vinci.





Reconstrucción de una grúa giratoria de Leonardo da Vinci, diseño muy similar al de Giuliano da Sangallo²⁰.

En estas máquinas las poleas eran algo imprescindible y aumentan su eficacia incorporando sistemas de poleas y polipastos, como podemos ver en el tratado de Vitruvio.

20. Giuliano Giamberti, llamado Giuliano da Sangallo. (Florencia h. 1445 - 1516), fue un arquitecto, tallista, ingeniero militar y escultor italiano, hermano de Antonio da Sangallo el Viejo y tío de Antonio da Sangallo el Joven, que encontró en Lorenzo de Médicis un comprensivo protector.

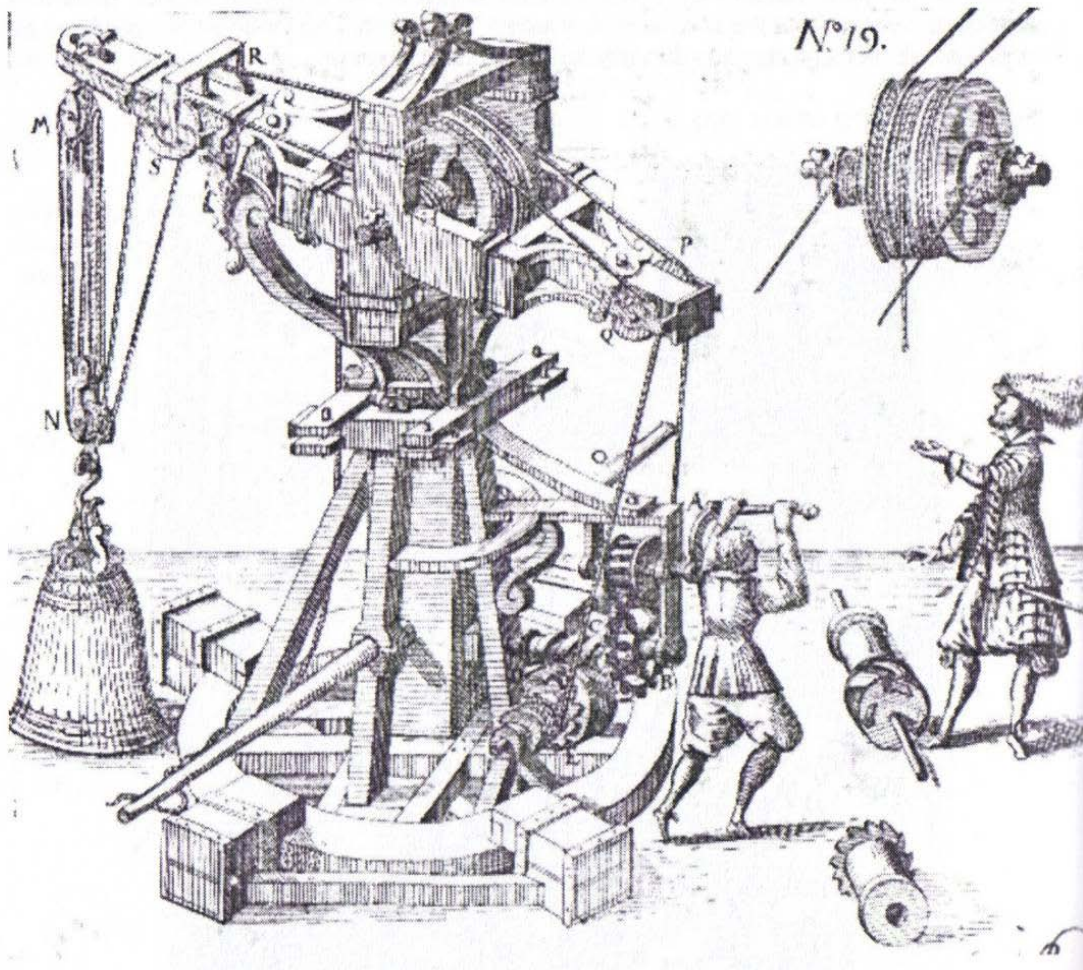




Tratado sobre máquinas
romanas según Vitruvio (1521).

En la siguiente imagen se muestra una máquina de Zeising. Aquí ya se nota una evolución en este tipo de máquinas utilizando polipastos y diversos mecanismos en combinación. Es una muestra de la difusión a nivel europeo, gracias a los intercambios de ideas y conocimientos. Es a partir de 1580 cuando se percibe más claramente esta influencia, en los libros europeos suceden imágenes de máquinas muy similares, en ocasiones con alguna innovación.

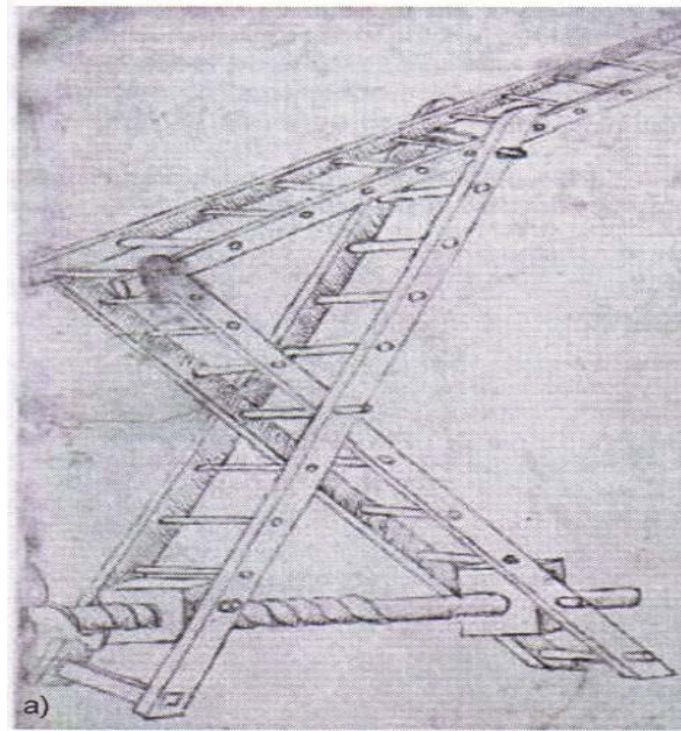




Máquina elevadora de Zeising, de "theatri machinarum erster".

Sobre el año 1400, también salen a la luz los trabajos de Mariano "Il Taccola" que publica el libro "De Ingensis". No sólo estudia los diseños de sus predecesores sino que busca ideas nuevas con el estudio de mecanismos para escaleras elevadoras.





Escalera elevadora de "De Ingensis".

El mecanismo consiste en tres escaleras unidas entre sí que por medio de un movimiento relativo entre ellas, accionado por el tornillo inferior, hacen que aumente la altura.

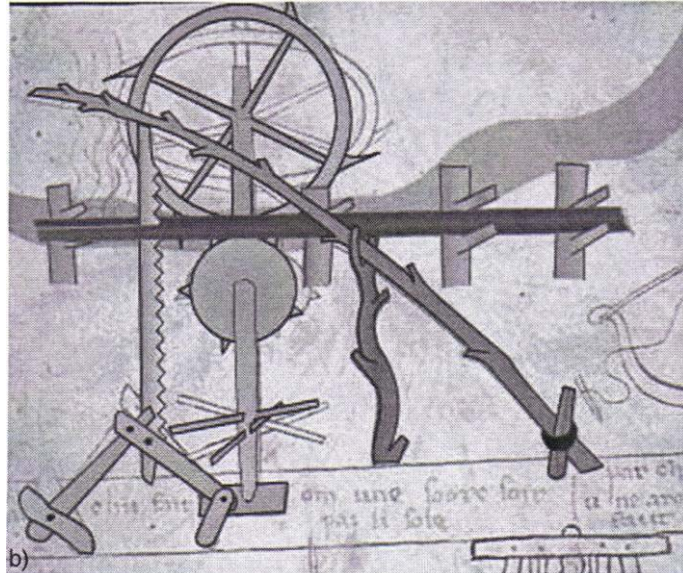
En el sector de la construcción también debemos tener en cuenta las necesidades productivas, construcción de herramientas, naves y las propias máquinas. Se empiezan a diseñar máquinas que dan mayor eficacia a las actividades que hasta entonces tienen un carácter artesanal. Un ejemplo de esta maquinaria la constituyen las sierras.

Esta es la primera representación de una sierra hidráulica, ya que había sido descrita y utilizada pero nunca dibujada hasta el cuaderno de Villard²¹.

21. Villard de Honnecourt (nacido en Picardy y muerto en Francia hacia el año 1250) fue un arquitecto que vivió en la primera mitad del siglo XIII, un maestro itinerante, que ha pasado a la fama por que se ha conservado un cuaderno de viajes que le perteneció, en el que se encuentran gran cantidad de dibujos que fue realizando en sus viajes. En ellos demuestra su interés por los nuevos avances en arquitectura, el estudio de la escultura de su momento y su interés por las curiosidades técnicas y naturales.

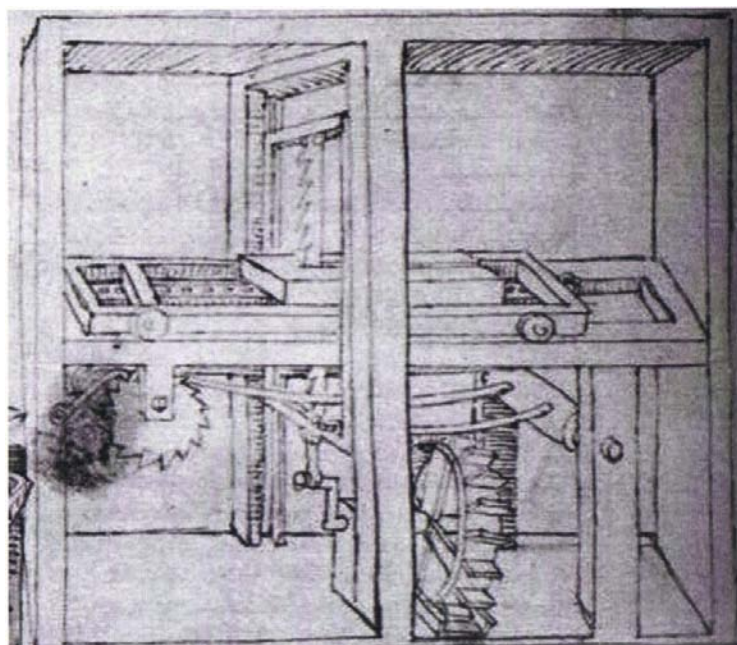


En esta sierra el movimiento circular de la rueda hidráulica crea un movimiento alternativo vertical de subida y bajada capaz de serrar la madera, al que se añade el avance automático de ésta hacia la sierra.



Sierra hidráulica de Villard de Honnecourt.

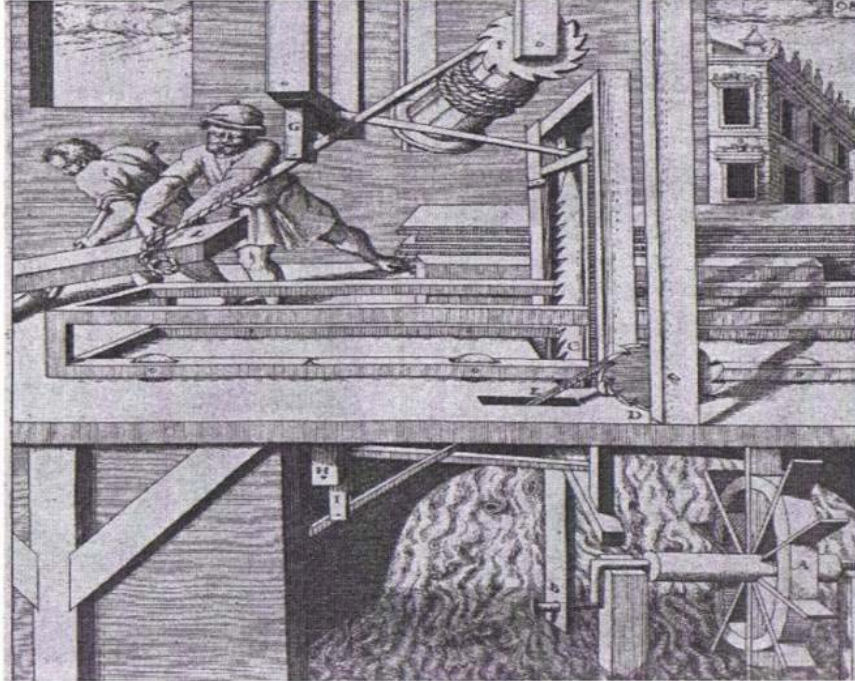
Tras los de Villard, Di Giorgio dibuja unos nuevos bocetos sobre este tipo de máquinas. La plancha de madera a cortar se coloca sobre un carro con ruedas que se puede desplazar a la vez que la sierra realiza un movimiento vertical de corte. Este movimiento viene dado por una rueda hidráulica que pone en marcha un mecanismo de biela - manivela.



Sierra hidráulica de Di Giorgio.



En el diseño de Jacobus Strada, se observa un diseño similar al de Di Giorgio pero con ciertas mejoras y avances. En la nueva máquina la propulsión de la sierra en su movimiento vertical sigue utilizando un mecanismo de biela – manivela movido por un caudal de agua, y se disponen dos poleas para colocar y mover la madera a cortar.



Sierra hidráulica de Jacobus Strada.

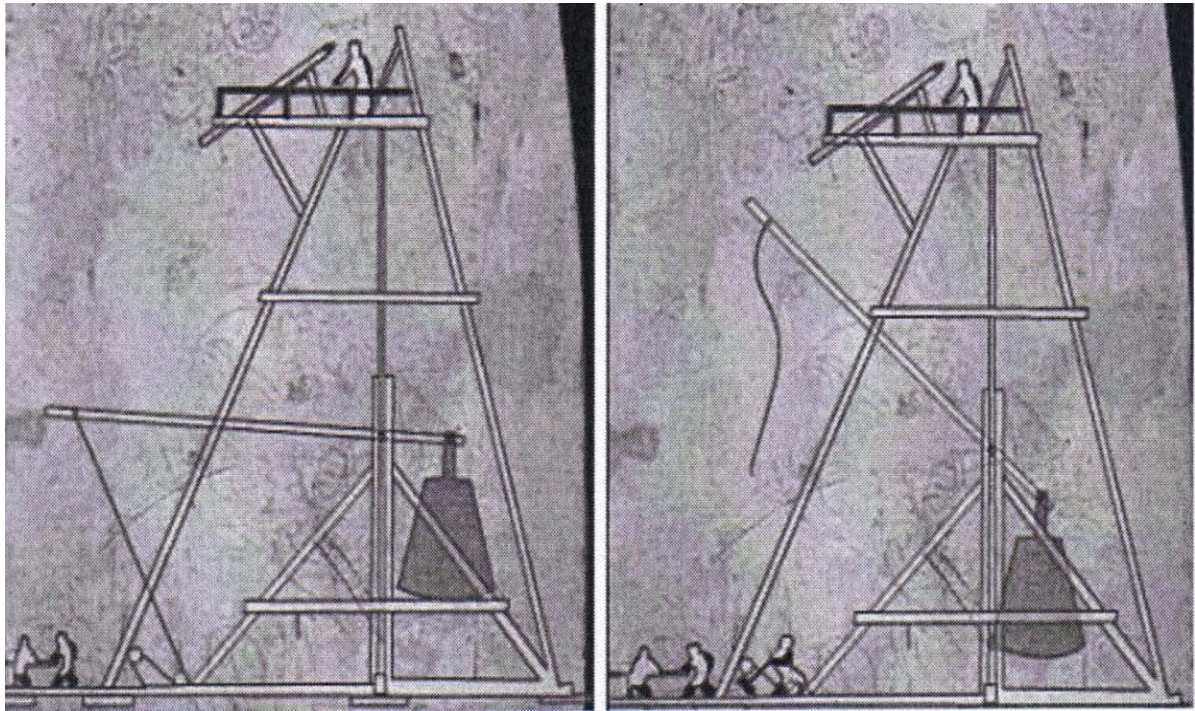
3.5.3.- Militar

La guerra hoy en día es sin duda un campo donde la tecnología y la ciencia van innovando de una manera muy veloz y no era menos en el siglo XV.

Podemos empezar con la lanzadera de flechas de Villard Honnecourt. En la imagen a escala podemos observar la magnitud de esta máquina.

Consiste en la impulsión de las flechas por medio del empuje de una tabla articulada. Esta tabla se hace descender mediante dos sistemas de poleas, una a cada lado, situadas en el suelo, que van enganchadas a varias cuerdas también unidas a la tabla. La fuerza que tienen que realizar los operarios no es únicamente la del descenso de la tabla sino también la elevación del contrapeso a la que ésta va unida. Una vez que el contrapeso está elevado, se corta la cuerda haciendo que el movimiento del contrapeso se transmita a las flechas, una vez que el borde de la tabla impacta sobre ellas.





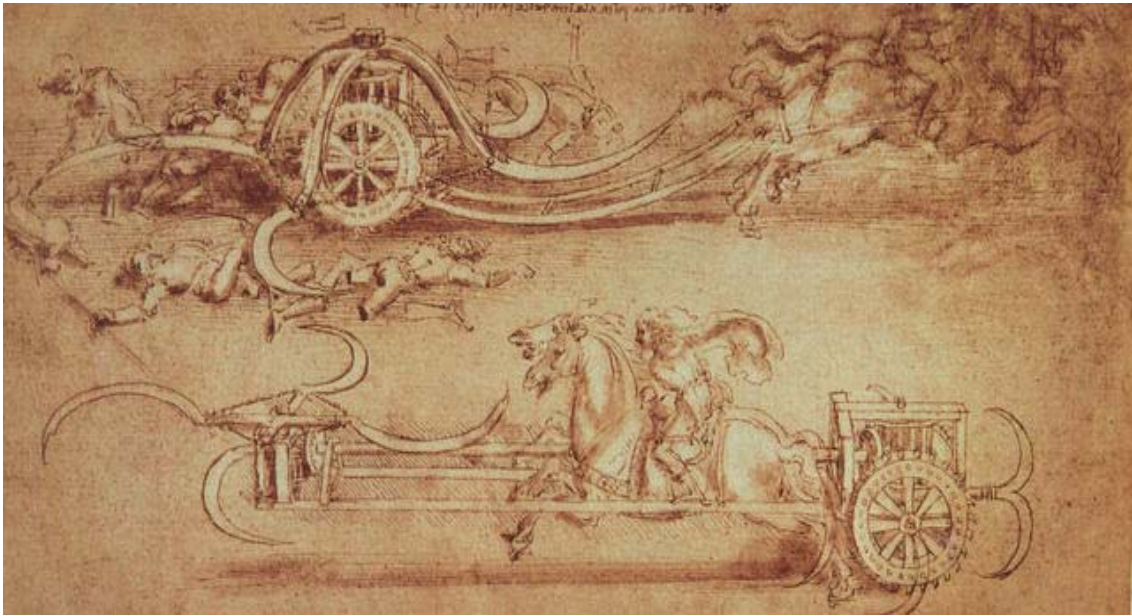
Posiciones del lanzador de flechas, de Villard Honnecourt.

Considerado como un genio adelantado a su época, Leonardo Da Vinci (1452 – 1519) recoge en sus cuadernos múltiples máquinas de guerra, algunas verdaderamente innovadoras, que diseña en torno al año 1490.

Empecemos por un aterrador carro equipado con guadañas giratorias mediante una serie de ruedas dentadas, que evitaban el acercamiento del enemigo a la posición del carro.

Las ruedas del carro tienen ganchos radiales para clavarse en el suelo, y al mismo tiempo ponen en marcha una serie de engranajes y árboles de transmisión, hasta llegar el movimiento a una cuchilla posterior y a una cruz giratoria delantera, formando de esta manera un sistema de defensa por los cuatro costados de la máquina.





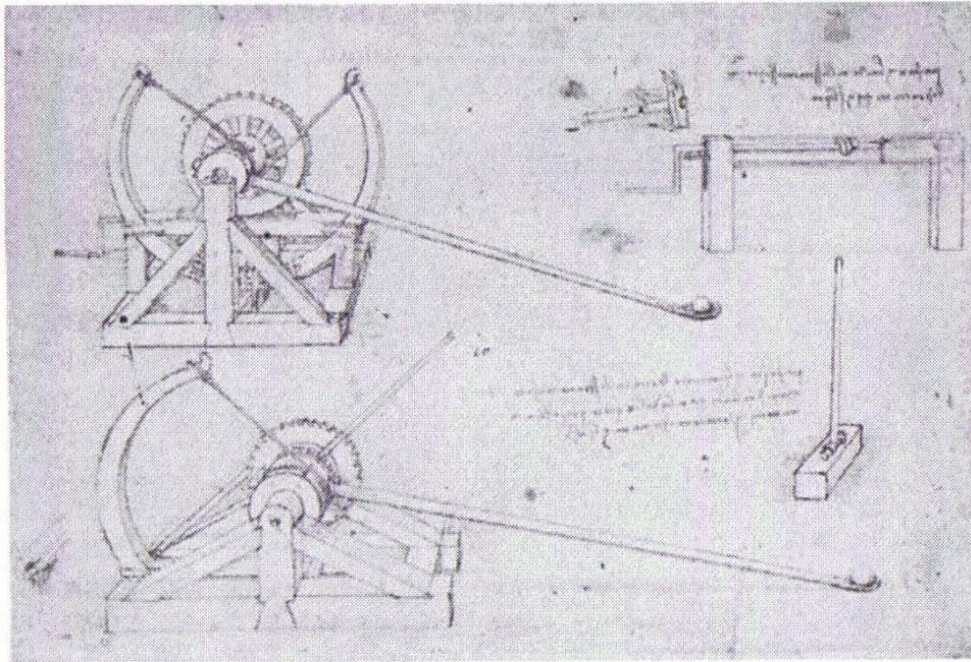
Carro con guadañas, del "Códice Atlántico".

Leonardo estudia una máquina bien conocida desde la antigüedad, la catapulta. Su diseño se basa en cambiar su mecánica. El estudio que realiza sobre los muelles le lleva a la creación de una nueva catapulta con mejores prestaciones que las que existían hasta aquel tiempo.

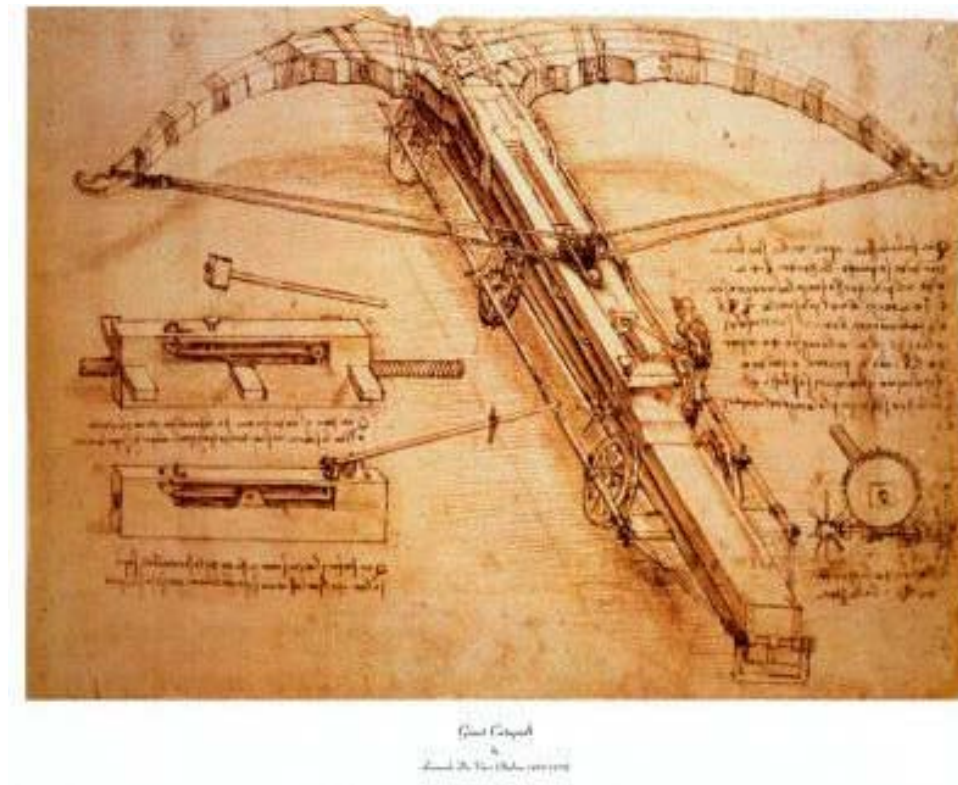
Según la imagen siguiente, al cargarse la ballesta, los dos brazos de madera se curvan sobre sí mismo, generando la tensión suficiente mediante el accionamiento de una manivela que recoge la cuerda. Cuando la máquina está preparada para lanzar, se libera la manivela y permite que el proyectil situado sobre la ballesta salga disparado.

Es la rigidez de los muelles la que hace más efectiva la catapulta y la hace adecuada para largos lanzamientos.





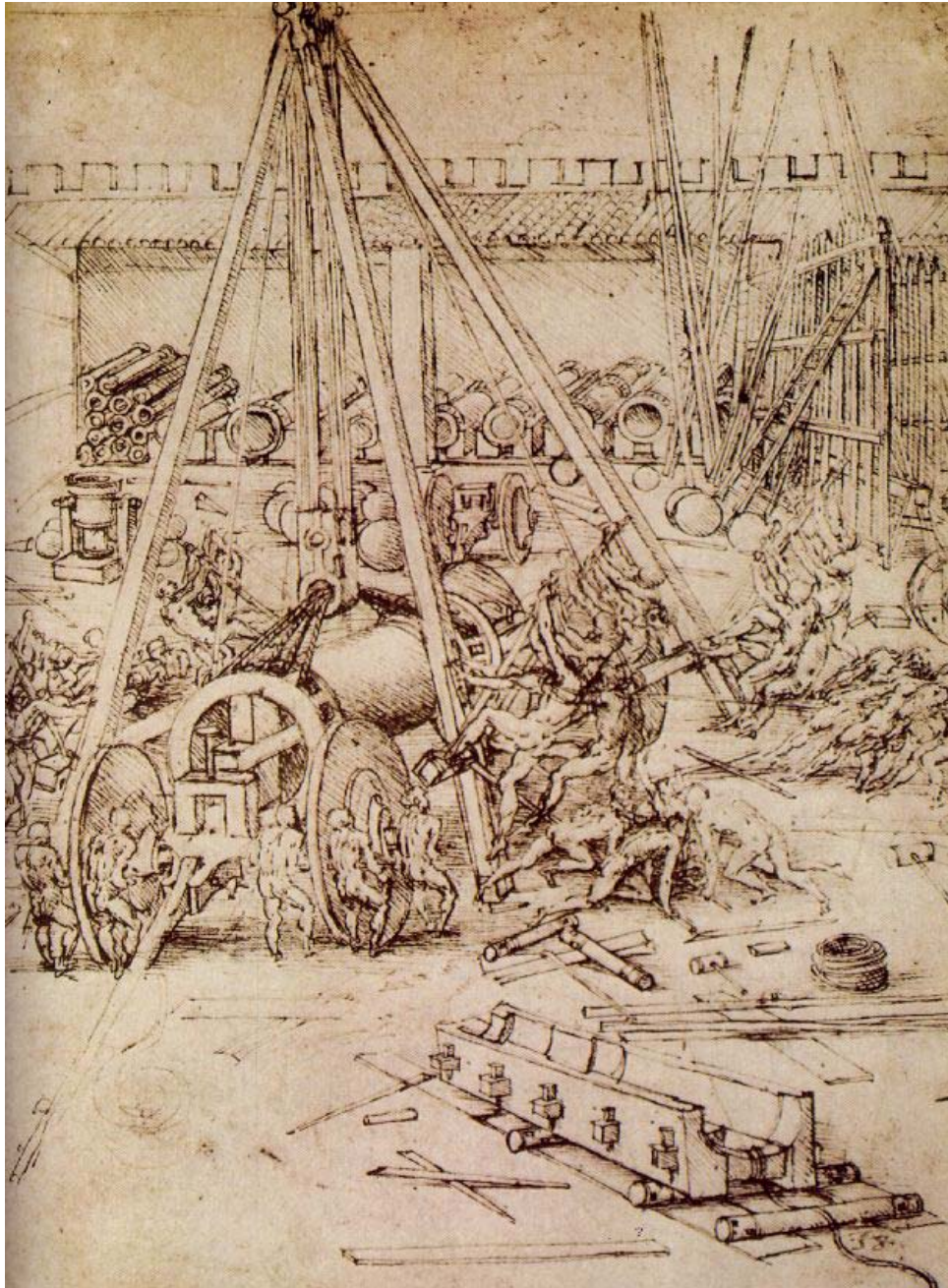
Catapultas, del "Códice Atlántico".



Una gigantesca ballesta, Leonardo.



Leonardo también aportó grandes piezas de artillería como una máquina para el transporte y movimiento de un gran cañón.



Dibujo de la representación del bastidor de un cañón gigantesco por Leonardo.

También un cañón multitubo; aunque con una cadencia de tiro bastante baja dado que se tenía que recargar tras cada disparo, introduciendo los proyectiles, la potencia de fuego de disparo sería devastadora.



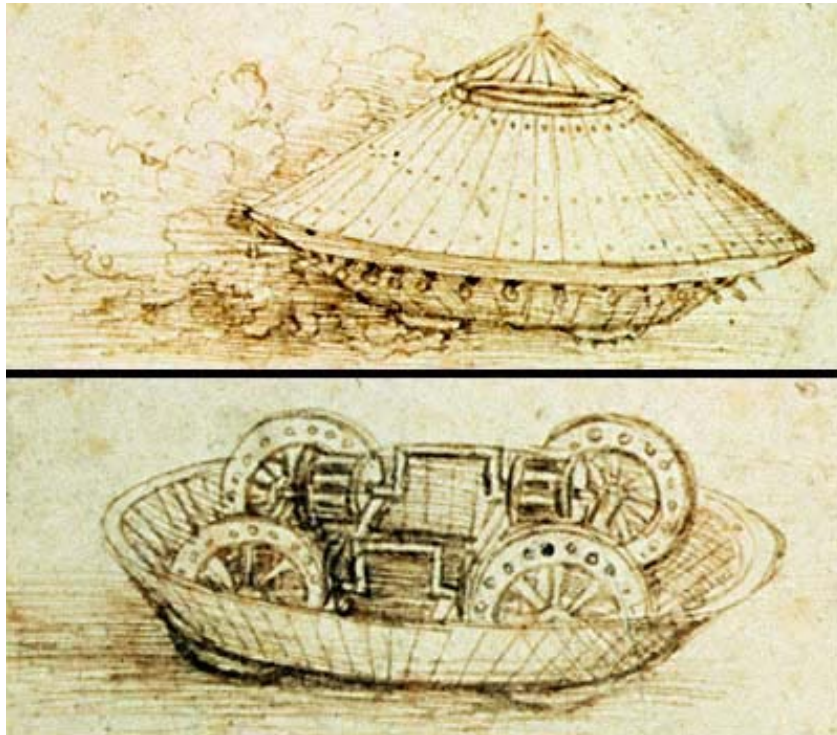


Cañón multitubo.

Por último vamos a ver lo que podría haber sido el primer carro de combate de la historia. El carro de combate era impulsado por los soldados mediante el accionamiento de unas bielas. El vehículo protegería a sus ocupantes que atacarían utilizando aspilleras²² para disparar. Este modelo fue recreado para un documental por un grupo de soldados de una División Acorazada Británica. Se vio que había un fallo en el diseño, las ruedas giraban en contrasentido. Sin embargo, una vez solucionado la máquina funcionó perfectamente. Aunque su utilidad es bastante dudosa, teniendo en cuenta las dificultades sobre un terreno de combate.

22. Una aspillera (también llamada *arquera*, *saetera*, *lancera* o *ballestera*) es una abertura vertical, fina y profunda, practicada en algunos muros o murallas defensivas, así como en las torres de los castillos o incluso en algunas almenas, permitiendo disparar flechas con arcos o bien con ballestas.





Carro de combate blindado, Leonardo.

3.5.4.- Transporte

El sector del transporte salvo varios ingenios, sigue siendo prácticamente igual que en la edad media. El transporte por tierra es a través de carros de tracción animal y por mar a bordo de grandes veleros.

Pero el Renacimiento aporta algunas nuevas soluciones originales particularmente en cuanto a medios de arrastre y transporte.

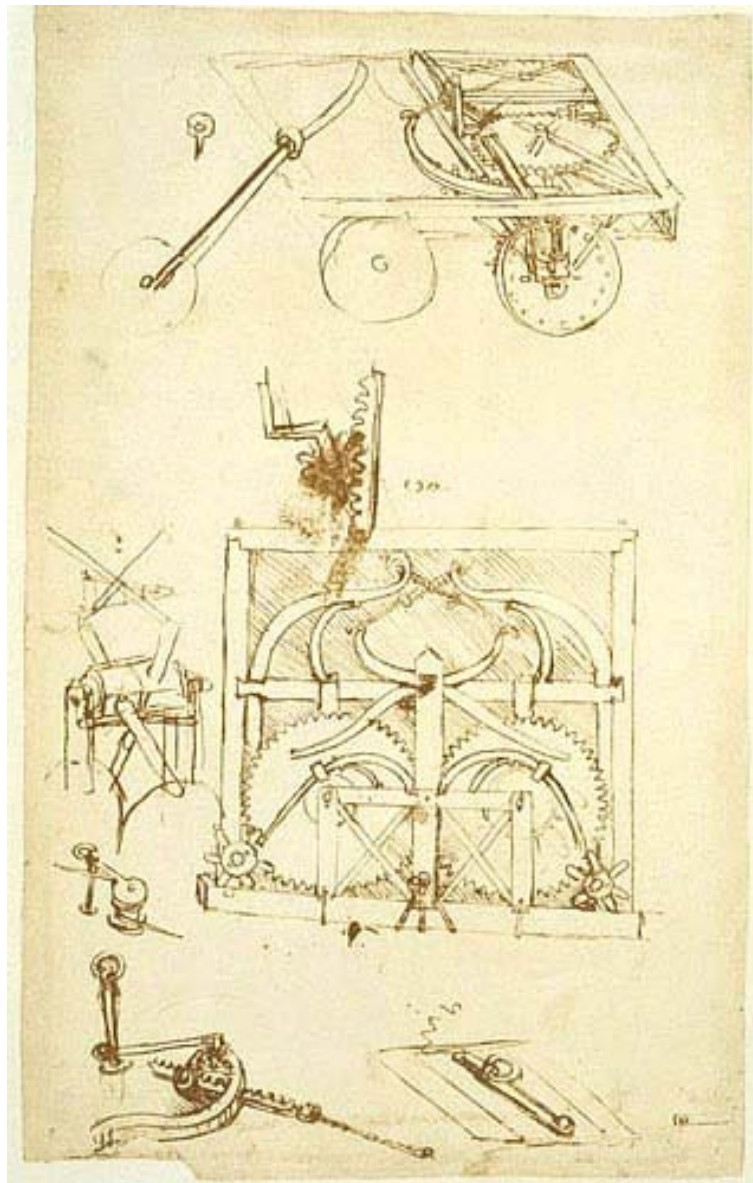
Leonardo vuelve a hacer algunos diseños, como es el del supuesto automóvil de tres ruedas.

El "automóvil" de Leonardo ha sido un enigma durante más de 500 años, sobre todo debido a la falta de documentación y a las interpretaciones equivocadas a lo largo de los siglos de algunos estudiosos, y que sólo se ha podido realizar tras la intuición del ingeniero italiano Carlo Pedretti y de un experto estadounidense en robótica, Mark Rosheim. Los ingenieros descubrieron que el automóvil de Leonardo no se movía con carburante o con un motor, sino gracias a un complicado mecanismo basado en un sistema de muelles que proporcionan la propulsión y que contaba con dirección; un mecanismo que se



podría comparar con el mecanismo de los viejos juguetes, antes de la llegada de las pilas.

No podemos decir que sea el primer automóvil de la historia, pero sí uno de sus precursores. Tecnológicamente hablando, el diseño de Leonardo es perfecto, lo que hizo que en 2004 se reprodujese el vehículo siguiendo los planos originales y consiguiendo que funcionase.



Automóvil del "Código Atlántico".





Reconstrucción del automóvil de Leonardo.

Otro diseño curioso fue el de una rudimentaria bicicleta que se adelantaría 300 años al invento de la primera bicicleta nacida oficialmente en 1818 bajo la patente “Máquina de correr” a cargo del barón Karl Fredrich Ludwig Drais Von Sauerbronn, pero la autenticidad de esta lámina no está contrastada. Los estudiosos están de acuerdo al afirmar que el dibujo no es obra de Leonardo y plantean si podría ser obra de uno de sus alumnos.





Bicicleta de Leonardo; "Códice Atlántico".



Reconstrucción de la bicicleta de Leonardo.

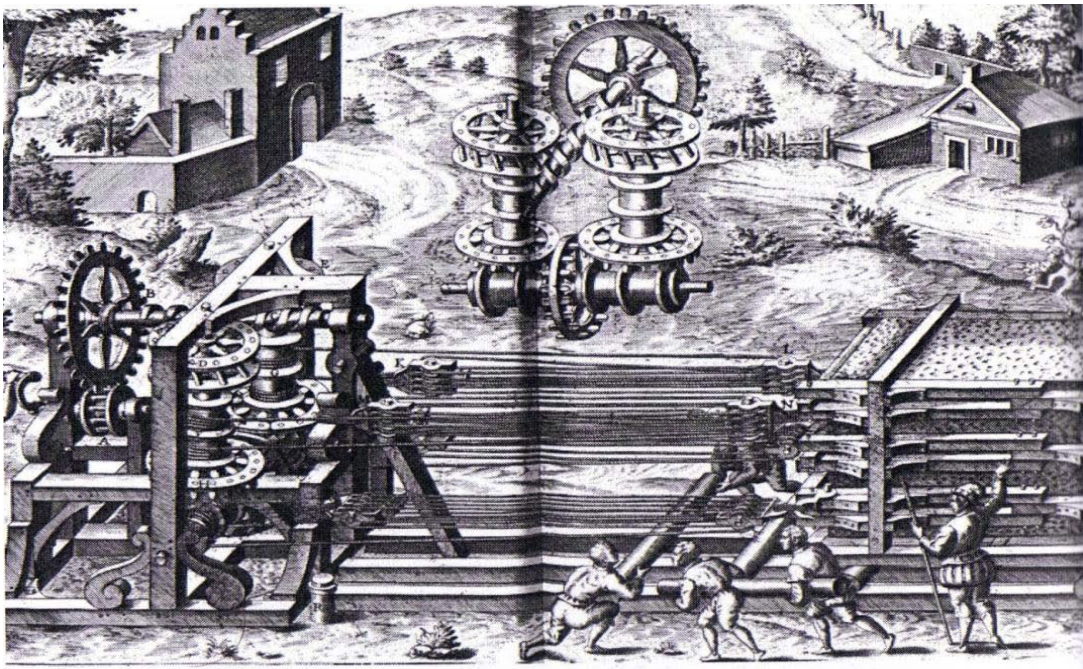
Leonardo se plantea el problema de hacer más rápida y fácil la navegación. Como es obvio, la forma del casco tenía gran importancia; Leonardo toma a los peces como modelo y, además, piensa en equipar algunas barcas con grandes palas que, accionadas mediante manivelas, con los pies o con las manos y ayudadas adicionalmente por volantes, se beneficiarían de un ritmo y de una eficacia mayores que los de los remos tradicionales. Esto es en cierto modo una ayuda al esfuerzo de los remeros.





Recreación a escala de palas de un barco, Leonardo.

Agostino Ramelli plasma en sus dibujos una máquina que sirve para el arrastre con rodadura de grandes pesos. En la imagen siguiente se observa un tren de engranajes que actúan sobre transmisiones polea - cuerda para mover el pesado instrumental. Hace falta una persona para mover una manivela y poner el conjunto en marcha, pero deben ayudar otros hombres para colocar los cilindros de rodadura sobre los que se va a mover la máquina.



Máquina para arrastre de Ramelli, de "Le Diverse et Artificiose Machine".



4.- MEDIOS Y RECURSOS TÉCNICOS USADOS EN LAS CARABELAS



4.- MEDIOS Y RECURSOS TECNICOS USADOS EN LAS CARABELAS.

4.1.- Ingeniería Naval.

En España y hasta el siglo XVIII los encargados de la construcción de barcos eran llamados simplemente "constructores". A partir de 1770 aparecieron los "ingenieros de marina" (o "hidráulicos") y posteriormente el término empleado fue el de "ingenieros navales".

En el siglo XV el cuerpo de la ingeniería naval, al igual que la mecánica, estaba compuesto básicamente por artesanos y carpinteros, encargados en la producción y mantenimiento de las naves.

La evolución de la tecnología naval en el siglo XV se convirtió en una necesidad, ya que resultaba indispensable para el desarrollo del comercio que desde el siglo XI irrumpió al interior de los centros urbanos y puertos a través de sus ríos navegables; en el Mar del Norte y el Báltico, así como el comercio entre los principales puertos mediterráneos, explotados y controlados desde el siglo XII por las ciudades italianas. La evolución de las galeras venecianas ilustra algunos de los cambios en la construcción de barcos marinos. Hasta el siglo XIII, los venecianos construyeron dos tipos de barcos que cumplían cada uno un diferente fin; el barco alargado equipado con remos (la galera) era utilizado como buque de guerra; el barco redondo, que utilizaba la vela, era usado como barco mercante. Posteriormente, lograron una innovación uniendo ambos barcos en uno solo llamado "gran galera", cuyo perfil redondeado, dotado de dos o tres palos con grandes velas latinas, combinaba las ventajas de los buques de remo y los barcos mercantes. Durante el siglo XV se hicieron otras innovaciones para introducir barcos redondos provistos de cañones que servían para patrullar los mares infestados de piratas.

Paralelamente al desarrollo de las galeras venecianas y por los mismos motivos relacionados con el incipiente desarrollo del comercio, en Europa del Norte se realizan una serie de innovaciones en la operatividad de los barcos, siendo la más significativa la invención del timón de codaste hacia finales del siglo XII. Este nuevo timón, al multiplicar la fuerza del timonero, facilitó sustancialmente la capacidad de maniobra, sobre todo en las zonas de fuertes corrientes.

En torno a 1250 comienza a circular un nuevo barco en los mares septentrionales de Europa. Típico de la flota hanseática, el kogge, como se le denomina, presentaba un casco con planchas superpuestas, quilla y roda rectilíneas y equipado con timón de codaste. Este barco tiene la ventaja de unir



su gran tamaño con su fácil manejo, su capacidad de flete¹ excedía las 200 toneladas y equipado con una vela podía alcanzar las 10-15 millas por hora con viento a favor.

Pese a sus capacidades para operar eficientemente en el mar Mediterráneo, los barcos venecianos resultaron inadecuados para resistir los remolinos y la fiereza de los vientos del atlántico. Se imponía, pues, nuevas mejoras en la construcción de barcos en función de los retos planteados en la cobertura de las rutas transoceánicas. Por ello, los viajes de exploración supusieron un cúmulo de conocimientos marítimos y de construcción naval que rebasaban, en principio, los proyectos a emprender. Contando con conocimientos geográficos, cartográficos, astronómicos parciales y técnicas no acabadas, las navegaciones ultramarinas fueron iniciadas por los portugueses con la toma de Ceuta en 1415, constituyéndose en el momento la necesidad de abrir nuevas rutas comerciales. Fue el motivo para encontrar mejoras en la construcción y operación de los barcos, permitiendo tanto el aumento de su velocidad, su calado² y seguridad, así como la ampliación de su capacidad de tonelaje. La evolución de la tecnología naval puede ser brevemente analizada comenzando por observar la generación de conocimientos y técnicas cartográficas, siguiendo con los cambios determinantes introducidos en la construcción de barcos, y terminando con las nuevas técnicas de defensa y ataque. La importancia que se le otorgaba a estos aspectos queda corroborada con la existencia en Portugal de un centro de estudios para la navegación dirigido a profundizar en la ciencia y la técnica de timonear y navegar en alta mar.

Las cartas de navegación³, basadas en el uso de la brújula, aparecieron en la primera mitad del siglo XIII. Los navegantes y cartógrafos venecianos y

1. Carga que se transporta.

2. El **calado** de un barco (generalmente se dice buque) es la distancia vertical entre un punto de la línea de flotación y la línea base o quilla, con el espesor del casco incluido; en el caso de no estar incluido, se obtendría el *calado de trazado*.

3. Una carta náutica es una representación a escala de aguas navegables y regiones terrestres adjuntas. Normalmente indica las profundidades del agua y las alturas del terreno, naturaleza del fondo, detalles de la costa incluyendo puertos, peligros a la navegación, localización de luces y otras ayudas a la navegación. Las cartas de navegación son instrumentos esenciales para la navegación náutica.



genoveses fueron los primeros en desarrollarlas, dada la necesidad que tenían de fomentar las comunicaciones requeridas para la expansión de sus mercados. Un *mapamundi* cartográfico de mucha utilidad, el de Andrea Bianco en 1436, fue concebido sobre líneas racionales y representaba un progreso en cuanto a concepción, así como a precisión práctica. Al trazar las líneas invisibles de la latitud y longitud, los cartógrafos allanaron el camino de las exploraciones ulteriores. Tomando en un principio referencias de otros cartógrafos, pero finalmente asentando su propia visión de esta técnica, los portugueses lograron representar gráficamente con bastante precisión la costa occidental africana hasta Cabo Verde hacia 1459. Aunque la cartografía de la época era inexacta, llena de incógnitas por resolver y se corregía conforme se daban nuevos descubrimientos o se hallaban mapas con información relevante, tenía la ventaja de dejar claro lo innecesario de que el navegante siguiese obligatoriamente el litoral; podía arrojarse hacia lo desconocido, poner rumbo hacia un punto arbitrario y regresar aproximadamente al lugar de partida.

Este aspecto tiene especial importancia, si se toma en cuenta que unos cuarenta años antes de la llegada de los portugueses a la India se tenía conocimiento en Europa occidental, proveniente de informes árabes muy probablemente basados en mapas antiguos, noticias marítimas acerca de la costa oriental de África, India, y los mares de más allá, hasta las cercanías de Sumatra. De manera que, una vez consumado el descubrimiento de América, los cosmógrafos portugueses estaban bastante preparados para deducir que la posición de las nuevas tierras, lejos de hallarse en las cercanías de Cipango (Japón) y de la tierra firme asiática, estaban separadas de éstas por casi la mitad de la circunferencia del globo terráqueo. El primer ejemplar de cartas portuguesas del Nuevo Mundo se conoce como “Carta Cantino” y prácticamente predice la existencia del Océano Pacífico. La consideración económica de que las Molucas, principal centro de abastecimiento del comercio oriental de especias, estuvieran situadas cerca de la línea de demarcación hispano-portuguesa impulsó aun más las técnicas cartográficas. Cada una de las potencias ibéricas se esforzó en demostrar que las islas se hallaban de su lado, realizándose para ello cuantiosos estudios detallados. Finalmente se determinó que las Molucas se hallaban dentro de la esfera de dominio portugués (Crone, 1998).

En cuanto a los cambios en la construcción de barcos, destacan las carabelas. De origen incierto, tal vez árabe, el timón se asienta sobre una popa plana, tienen una combinación de velas cuadradas y latinas en sus dos o tres mástiles, el cuerpo de la nave se alarga y se reduce su anchura; la estructura se ensambla mejor con la finalidad de soportar más carga, con una sola cubierta cóncava.



Estas renovaciones, que constituían una amalgama entre técnicas nórdicas, mediterráneas y atlánticas, se produjeron desde el siglo XV y a lo largo del XVI, añadiéndose la confianza depositada en la cada vez más sofisticada artillería para el ataque y la defensa. A principios del siglo XVI se introduce la abertura de troneras en el casco de los buques, de forma que los cañones podían montarse no sólo en la cubierta superior, en el puente de batería o en los alcázares, sino también en la cubierta principal. Sin embargo, resultaba incómoda esta modificación en barcos grandes de lento movimiento y difíciles de gobernar, por lo que los constructores intentaron mejorar la capacidad de maniobra sin menoscabar su poder de fuego. Hacia 1550 los esfuerzos cristalizaron en la construcción de una nave que podía estar dotada de poderoso armamento y al mismo tiempo maniobrar de forma ligera y flexible; se trata del galeón español, luego adaptado, y mucho mejor aprovechado, por los ingleses y los holandeses.

4.1.1. Las naves del descubrimiento: La mejor tecnología naval de Europa.

De forma constante, en los tratados de navegación y construcción naval del siglo XV y XVI, se hace especial hincapié en las diferencias estructurales que, desde antiguo, existían entre las embarcaciones destinadas a la exploración y las dedicadas al comercio. La travesía del Atlántico obligó a introducir diferentes mejoras en los barcos para adecuarlos fundamentalmente a vientos constantes y largas navegaciones "...el mar que ha(n) de navegar o para los negocios que ha(n) de servir. Porque se ha de servir para carga y mercancía ha menester una fábrica y, para la guerra, otra...", según nos relata Fernando Oliveira, navegante, y autor de un valioso tratado de arquitectura naval en la época.

Podríamos entender por nave comercial o de "mercante" a un barco de dimensiones "redondas", es decir, de manga considerable en relación con la eslora, y de alto bordo, es decir, con mayor capacidad de carga. Cada navío se ajusta a unas líneas, medidas y proporciones en cuanto a casco y aparejo, según su propulsión, a vela (naos, carabelas, esquifes, etc.), remo, (galeras, galeazas, galeones agalerados, fragatas...) o mixtos, adecuándose al mismo tiempo a las características del mar y costas que ha de frecuentar: para mares tranquilos y de bajos.



De manera que la tradición de los carpinteros de ribera de la época, era fruto de experiencia y arte en proporciones acordes con los fines y medios de la navegación. La propia perfección del arte de la construcción naval perseguía las tres grandes virtudes de un navío: fortaleza, ligereza y velocidad.

Una de las cuestiones previas para el conocimiento de los barcos que cruzaron el Atlántico y sus cargas, es el establecimiento del arqueo (determinar la cabida de una embarcación) para lo cual es necesario conocer la unidad de arqueo utilizada en la época. La falta de normalización y los problemas que esto ocasionaba ya fue apuntada por Colón, quien en 1494 sugirió la utilización generalizada del tonel sevillano como unidad de medida, sin olvidar que el concepto de arqueo, como desplazamiento de un barco, no aparecería hasta siglos posteriores, cuando fue posible calcular el peso del casco de la embarcación. Por ello, cuando obtenemos datos sobre las dimensiones de barcos de estas fechas, habremos de asignarlas a la capacidad de carga, en relación al volumen / peso que un barco podía transportar.

Las unidades de arqueo.

La falta de normalización de estas unidades ya mencionada, obliga a tener siempre presente la distinción entre toneles (relacionados con la carga) y toneladas, que desde antiguo tenían que ver con la determinación del sueldo. Por otra parte, será preciso valorar la localización geográfica de tales medidas, pudiendo tratarse del norte de España, el Cantábrico o Andalucía, concretamente el golfo de Cádiz.

Los valores medios de cada medida son los siguientes:

Tonel cantábrico o macho = 1,5183 m³

Tonel andaluz o tonelada de carga = 1,3844 m³

Tonel portugués = 1,6374 m³

La determinación exacta de la capacidad de carga de un barco, aspecto de fundamental importancia en relación con la prevención de fraudes, estimación del seguro, cuantificación de la tripulación, armamento necesario, etc., fue siempre una difícil cuestión incluso para los propios carpinteros de ribera.

Las Ordenanzas de 1505, 1510, 1511 y posteriores, establecían que los visitantes de la Casa de la Contratación debían determinar el arqueo de cada uno de los barcos preparados para cruzar el océano.



En 1590 tuvo lugar en España la definitiva sistematización de la unidad de arqueo, que continuó en uso hasta el siglo pasado.

- Las Carabelas.

El origen exacto de la carabela es todavía hoy objeto de debate, ya que existen multitud de teorías al respecto, pero pocas pruebas concluyentes. Por un lado, se cree que el origen de la carabela sería el *dhow* árabe, introducido en la Península Ibérica a raíz de la Conquista. El *dhow* es una embarcación a vela que se caracteriza por tener un velamen triangular, un único mástil y ser de bajo calado. Lo realmente significativo de esta embarcación árabe, y base de la teoría sobre su posible origen como antecesor de la carabela, es que su velamen triangular le permitía navegar sin remos indistintamente de la dirección que tuviera el viento, ya que las naves que existían hasta la fecha, con velámenes cuadrangulares, necesitaban viento de popa para poder prescindir de los remeros. Y es que las carabelas, como veremos más adelante, aparejaban velas de este estilo triangular.

Quizás, si examinamos con detenimiento la etimología de la palabra carabela, se pueda trazar el origen de este tipo de buque hasta una pequeña embarcación relacionada con los musulmanes de la zona del Algarve portugués y el Magreb, ideada para navegar con garantías en las aguas oceánicas donde los pescadores locales la empleaban para faenar. Se denominaba *qârib* y aunque poco se conoce de sus detalles técnicos, parece ser que sus principales características permitirían posteriormente un desarrollo que desembocaría en buques tan grandes como las carabelas. Debido a esas características, se especula con que el



Clásico dhow navegando por el Lago Victoria. Actualmente son muchos los que piensan que estas embarcaciones sirvieron de base para el diseño de las carabelas

término carabela se deriva de la palabra árabe *qârib*, con lo que su origen sería también árabe.

Existe una tercera consideración al respecto. Hay quien sostiene que el término carabela procede de *carabo*, un sustantivo árabe con el que se denominaba a un tipo de embarcaciones de origen bizantino. Este nombre, latinizado como carabela, se utilizaría para definir a una serie de barcos pequeños, de menos de 100 toneladas, de aparejo latino, empleados por los árabes en el Mediterráneo. Al ser un barco de fácil maniobra, su uso se extiende hacia la cuenca occidental del Mediterráneo y las postrimerías del Atlántico, especialmente a Portugal. Y es en este país donde aparece por primera vez este término, hacia el



año 1.255, en un documento foral de Vilanova de Gaia.

A pesar de todas las teorías existentes, lo cierto es que la carabela como tal, era una embarcación larga y estrecha, con aparejo redondo o latino, arboladura de dos a tres mástiles, con una sola cubierta y un elevado castillo de popa, diseñado específicamente para los viajes de exploración y ciertamente, los diseños más afamados y de mayor prestigio, provenían de la Escuela de Navegación de Sagres⁴, en Portugal. La aparición del timón axial o de codaste obligó a hacer mayor el rasel de popa (menor ángulo); al mismo tiempo que se afinaban las líneas de la obra viva (parte del barco situada por debajo de la línea de flotación), con objeto de que llegase mayor cantidad de agua al timón y no se produjesen zonas de vacío (remolinos), que dificultasen el gobierno de la nave. Este hecho tuvo que ser advertido en las primeras embarcaciones que llevaran timón de codaste. Tal y como mencionaba Iñigo de Arrieta, uno de los miembros de la tripulación de Colón en su primer viaje y Comandante de la Flota de Vizcaya, las carabelas eran “corredoras extremadas, buenas para descubrir tierras”, pudiendo alcanzar velocidades de hasta 10 nudos, algo excepcional para la época. Y es que, debido al tipo de velamen, la carabela requería de marineros más experimentados y hábiles, ya que las embarcaciones contemporáneas, como la carraca o la nao eran, por así decirlo, más “dóciles” y lentas.

Pero, ¿cómo medían aquellos marineros la velocidad a la que viajaban? Se explica perfectamente que la velocidad de los barcos de vela sea variable. Se hace nula, por supuesto, los días en los que no sopla el viento. Es preferible no tener que ceñir. Incluso con viento favorable, todo depende de la fuerza de ese viento. A mayor viento, mayor andar, aunque esa relación no es lineal: hay un punto óptimo a partir del cual el aumento del viento es un inconveniente. Primero, por la fuerte marejada que puede entorpecer la navegación, y segundo porque obliga a rizar o arriar velas, disminuyendo así la superficie propulsora. La velocidad media de una carabela era de seis a siete nudos (millas náuticas por hora), que podía incrementarse a doce o trece (unos veinte kilómetros por

4. Los navegantes han necesitado siempre conocer técnicas y poseer aparatos muy precisos para poder orientarse y tomar el rumbo adecuado. La escuela de Sagres, fundada por Enrique el Navegante, dio un gran impulso a las técnicas de navegación y a la cartografía, haciendo posible una navegación más fiable, pero no exenta de riesgos. Con los satélites artificiales y la moderna cartografía, la navegación es cada vez más segura



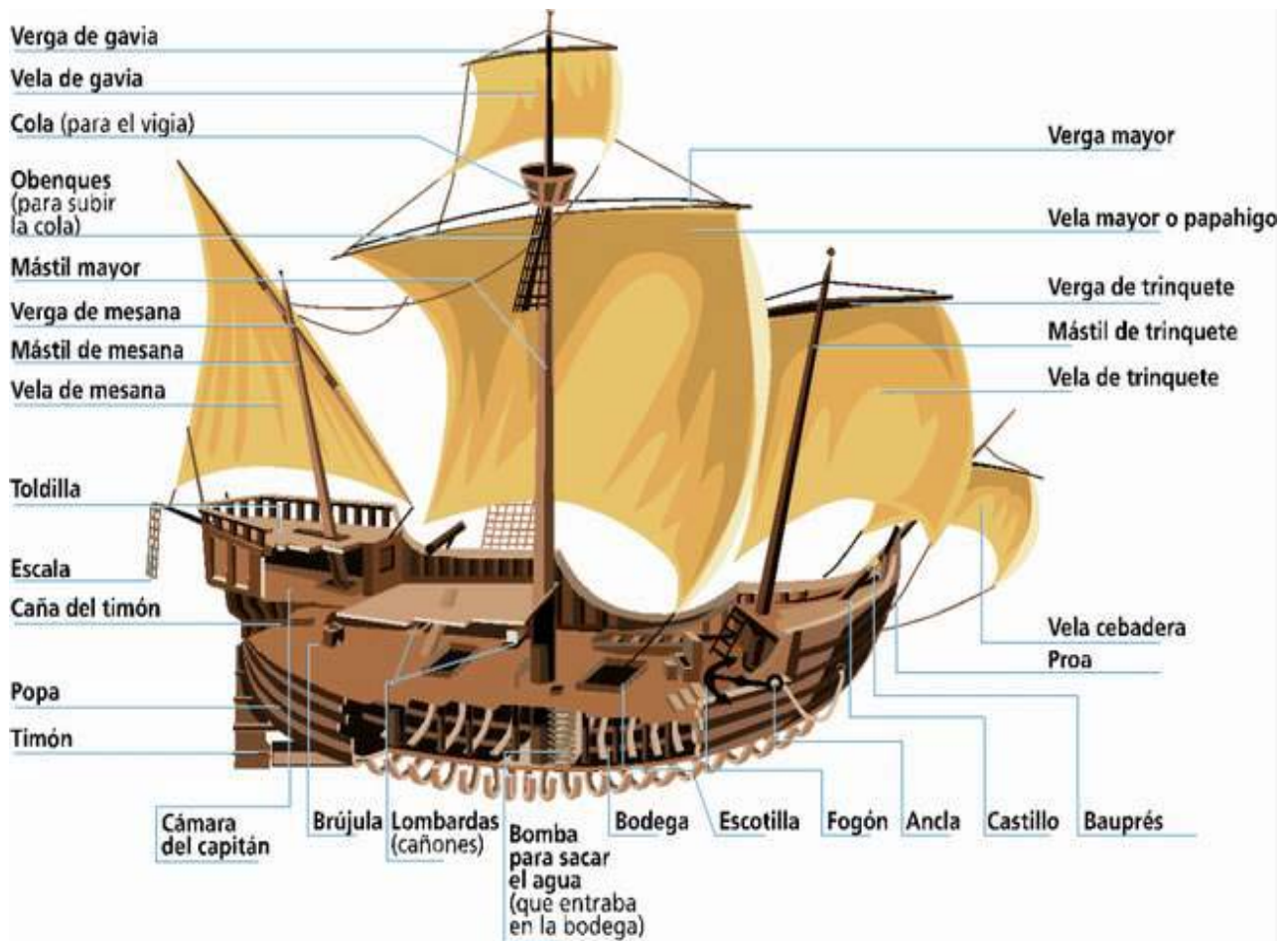
hora) en buenas condiciones. Una vez más nos hemos de descubrir ante los fabricantes de carabelas. Una marcha así no la supera un yate de hoy en día exceptuando, claro está, a los de competición. Tampoco suele pasar de doce nudos un vapor de carga. Si el tiempo que las carabelas empleaban en atravesar el Atlántico fue mayor que el que necesita hoy un carguero, ello es porque dependían del viento, mientras que un barco moderno puede mantener una velocidad constante.

No era fácil medir con exactitud la velocidad de un navío. Existía un método denominado corredera, que en su forma primigenia consistía en una barquilla, un contador y un carretel. La barquilla consiste en una tabla de madera plana, de forma triangular, lastrada para que flote perpendicularmente. A esta iba unido el cabo o cordel, marcado con nudos dispuestos a intervalos o espacios de 14,40 m, que parte del carretel. Para averiguar la velocidad del buque, se arrojaba al mar la barquilla con el cabo atado y se contaba el número de nudos que pasaban en un lapso de 28 segundos. Como los nudos se encuentran en la misma relación con respecto a una milla marina que los 28 segundos respecto a una hora, si son 4 los puntos contados en 28 segundos, la velocidad sería de 4 nudos o 4 millas marinas (recordemos que la milla equivale a 1.851,8 metros).

Naturalmente que Colón no disponía de un cronómetro capaz de contar segundos; pero podía valerse de los latidos de su corazón, o simplemente, rezar determinadas oraciones, como aún hacen algunos marinos. El método no era muy preciso, pero servía.



- Partes de una Carabela:



- Los adelantos técnicos:

La expansión europea fue una expansión marítima y el medio técnico, el velero. Gracias a él la náutica del siglo XIV progresó de tal forma que quedó de manifiesto que el mar era el medio más económico, rápido y seguro de comunicación y transporte. Valiéndose de los conocimientos provenientes de las escuelas náuticas del Mediterráneo y del Mar del Norte, durante este siglo Portugal fue capaz de crear nada menos que el velero de la expansión por antonomasia: la Carabela.

Pero vayamos a los inicios. La denominación de velero incluye diversos tipos de embarcación como carabelas, cocas, urcas, galeones y carracas. Al contrario de la tradición mediterránea, que en esta época seguía utilizando preferentemente barcos movidos con remos, las ciudades norteeuropeas crearon un tipo de nave diferente que aprovechaba la fuerza de los vientos: la coca o Kogge. Ésta se caracterizaba por tener un casco muy alto y ancho y por su forma redondeada,



debido a una relación entre largo (eslora) y ancho (manga) de 3 a 1 (a diferencia de los barcos a remo, que tenían una relación de 6 a 1). La menor relación entre eslora y manga permitió agrandar las bodegas y, por lo tanto, aumentar la capacidad de carga.

Pero el mayor aporte de la coca norteamericana a la navegación y a la expansión ibérica fue el empleo del timón de codaste, denominado así por el grueso madero que como continuación de la quilla cerraba el casco en la popa (parte trasera). El nuevo dispositivo permitió mejorar la dirección del barco y el mantenimiento del rumbo, porque ejercía una fuerza muy potente en el agua, superior a la de los timones laterales o grandes remos utilizados con anterioridad. Además, la coca empleaba una gran vela cuadrada (heredada de los vikingos), que era colocada en el palo mayor y permitía el movimiento del barco.

Pero la carabela portuguesa no sólo emplearía los aportes de la coca, sino también adoptó una serie de elementos propios de la navegación mediterránea. El casco de la galera serviría de modelo para la carabela; igualmente el uso de varios mástiles lo que aumentaba la superficie del velamen y, por consiguiente, la velocidad; y por último, la vela triangular originaria del Océano Índico, difundida por los árabes en el Mediterráneo a partir del siglo IX. Esta mal llamada vela latina o triangular era fundamental para poder navegar con vientos laterales y se colocaba en el palo de mesana, ubicado en la popa de la carabela.

Integrando todos estos elementos, a lo largo del siglo XIV los portugueses diseñaron la carabela. Estaba dotada de un aparejo doble, velas cuadradas para aumentar la velocidad y una vela triangular para hacer posible la navegación con viento en contra. Su casco de forma afinada, sus bordes altos y la presencia del timón de codaste, permitieron a la carabela cabalgar sobre las olas y resistir exitosamente la deriva, venciendo los fuertes vientos alisios del Océano Atlántico. La capacidad normal de estas naves era de 50 a 60 toneladas. Su eslora era de 20 metros y su manga de 8. Para lograr una mayor estabilidad eran lastradas con piedras y arena, materiales depositados en la sentina que era la parte más profunda del casco de la nave.

Debido a sus características, la carabela requería de una tripulación pequeña que no superaba los treinta hombres. De esa forma, el costo operacional de un viaje en carabela era el más bajo de la época. Ello, sumado a sus ventajosas condiciones al momento de navegar, transformó a la carabela en el instrumento propicio para emprender ambiciosas exploraciones y alcanzar lugares cada vez más lejanos.



La fuente de movimiento para un velero son sus velas, ahora analizaremos los tipos de velas que se usaron en las carabelas:

- Las velas latinas o triangulares (llamadas por los marinos “de cuchilla”) permiten ceñir o navegar de bolina mejor que las cuadradas. Las primeras carabelas, y especialmente las portuguesas, llevaban velas latinas, a veces una sola e inmensa, que, sostenida por una larguísima verga, iba casi de proa a popa.



Velas latinas.

Sin embargo, un aparejo de este tipo tiene sus inconvenientes y citaremos estos para comprender mejor el sistema preferido por Colón. Una vela, salvo en las embarcaciones o balandros más sencillos, no pende del mástil, sino de una verga (palo cruzado en el mástil). En el aparejo latino, la verga va sensiblemente de proa a popa, y por tanto la vela recibe el viento transversalmente cuando aquel sopla de costado. La vela latina por razones técnicas, es capaz de aprovecharse de vientos que vienen casi por proa, y por tanto navegar de bolina. Por el contrario, para un aparejo latino, navegar “viento en popa” resulta poco cómodo. La verga ha de cruzarse hasta quedar atravesada y salir por un costado, dando lugar a una imagen asimétrica, lo cual conlleva a una pérdida de estabilidad.

Por otra parte, las velas latinas provistas de vergas, es decir, las de los barcos grandes como las carabelas de entonces, tienen un inconveniente: están preparadas para recibir el viento de un costado. Si el viento sopla de estribor, la verga se coloca a babor del mástil y la vela se hincha, lógicamente, hacia la izquierda. Pero si el viento vira de pronto o es el buque el que tiene que virar, la vela quedara aplastada contra el mástil y no permitirá gobernar debidamente. Hay que arriar la vela, cambiar la verga en la dirección favorable al viento, y



volver a izarla. La maniobra es pesada, y durante su ejecución, además, el navío queda sin gobierno.

- Para prevenir los cambios de viento o las rápidas maniobras es preferible una vela redonda. Una vela redonda no es “redonda”, sino cuadrangular. Es el tipo de vela más antigua que se conoce y durante muchos miles de años no se conoció otro tipo. La característica distintiva de la vela cuadra o redonda es que siempre presenta la misma cara al viento. Este es un principio fundamental y sencillo, y ninguno de los inventos aerodinámicos de los últimos años ha cambiado la vela redonda o influido su valor para navegar por alta mar. En este caso la verga va izada delante del mástil y puede girar lo mismo a derecha que a izquierda. De hecho, podría girar en redondo: y por eso la vela se llama redonda. Una vela redonda no permite ceñir tan cerradamente contra el viento, pero en cambio puede girar con facilidad de babor a estribor, o viceversa, y recibir el viento del lado conveniente sin necesidad de arriarla.



Vela redonda o cuadrada.

Ahora comprenderemos mejor por qué Cristóbal Colón hizo cambiar el aparejo latino de la “Niña” por otro redondo. Iba a navegar muchos días, con viento en popa. El aparejo latino es poco acto para este viento; pero es que, además, ligeras variaciones hacia babor o estribor, como es usual en los alisios, hubieran obligado a molestas maniobras con las velas latinas.

- El viento.

Un barco de vela no puede navegar jamás contra viento. Puede hacerlo de “bolina” cuando el viento sopla entre proa y el costado; “al través”, cuando el



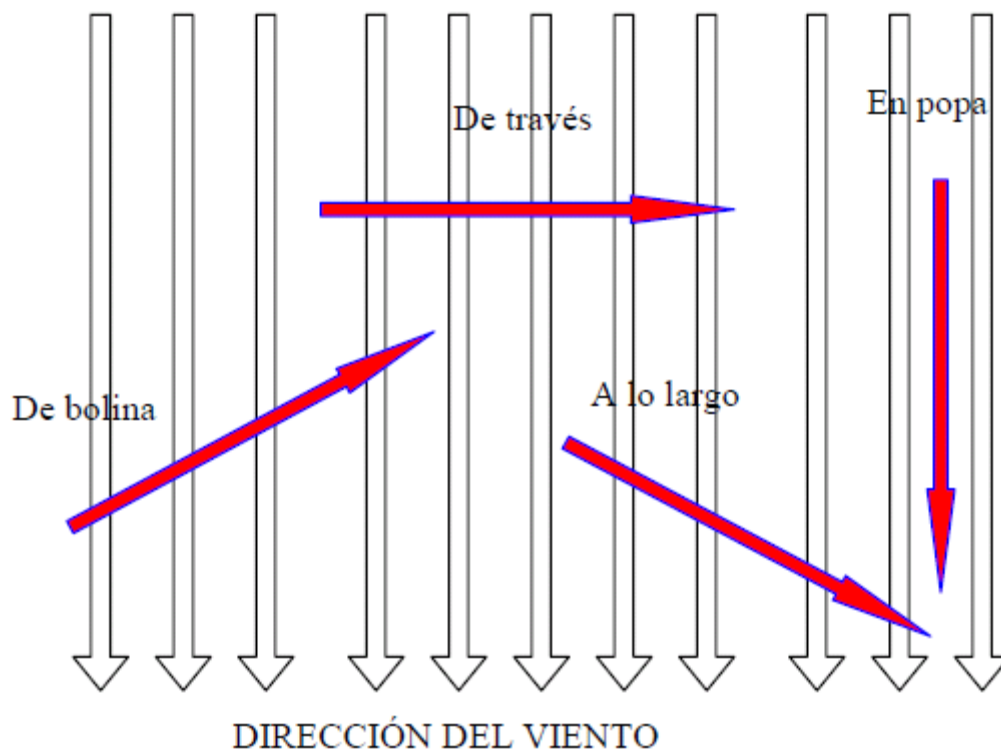
viento sopla de costado; a “un largo” cuando sopla entre el costado y la popa; o en “popa”. No siempre es lo mejor, pese a las apariencias, “navegar viento en popa”. Con aparejo latino ya hemos visto ciertos inconvenientes. Con velas redondas no hay problema de manejo, pero el viento de popa hace que unas velas “hagan sombra” a otras. Para que el viento sea favorable y al mismo tiempo llegue por igual a todas las velas, lo preferible es navegar a un largo. Es la forma, con aparejo redondo, de alcanzar la mayor velocidad con el menor viento. Sin embargo, parece que Colón prefirió, siempre que pudo, navegar en popa por motivos de rumbo.

Naturalmente que el marino no puede escoger el viento, ni tampoco el rumbo. Ha de hacerlo a veces en las condiciones más desfavorables. Si el viento sopla exactamente de proa, es decir, si viene del punto al que se desea ir, siempre es posible ceñir de un lado y otro, haciendo “bordadas”. El camino es quebrado, pero al fin se llega al punto de destino.

Sin embargo, no pensemos que los barcos de Colón poseían la misma capacidad de bolinear que un balandro de hoy. A lo sumo, podían ceñir a cinco cuartas de viento. Si este soplabá del norte, y el navegante quería dirigirse al norte, tenía que ir alternando bordadas al nordeste cuarta al este y noroeste cuarta al oeste. Esto significa un camino casi cuatro veces más largo que con vientos favorables, aparte de que la velocidad de desplazamiento era menor y la deriva o desviación provocada por el viento podía llegar a extremos peligrosos o difíciles de corregir. Así se explica la inquietud de Colón y los suyos ante el exceso de viento favorable en el viaje de ida. Si pudieron llegar de la Gomera a Guanahaní en 33 días, hubieran empleado en hacer el camino inverso, en las mismas condiciones, cerca de un año. Llevaban víveres para menos de un año, y no se sabía de nadie que hubiera sobrevivido tanto tiempo en alta mar. Tal era la dependencia del viento que muchas veces prefería anclar en un puerto y esperar a que cambiase su dirección, que lanzarse a la mar con la perspectiva de innumerables ceñidas. Así lo hizo Colón muchas veces.



RUMBO DEL NAVIO CON RESPECTO AL VIENTO



- La bodega y su contenido.

Antes de acometer la carga de un barco, era requisito imprescindible someterse a la "Visita de naos", llevadas a cabo por los oficiales de la Casa de la Contratación, como medio de comprobación del buen estado del mismo, su estanqueidad, establecimiento de su arqueo, a veces en compañía de un arrumador o especialista en estiba⁵. Mediante la declaración del tonelaje y número de pasajeros autorizados, se otorgaba la licencia para efectuar la carga. Una segunda visita se realizaba en Sevilla antes de partir para comprobación de tripulación, carga, artillería, municiones y bastimentos, el registro correcto de las mercancías y su cantidad.

Las bodegas debían dar cabida a diversos materiales, provisiones y mercancías. Careciendo de ellas, era imprescindible recurrir a un lastre adecuado para

5. Se define como estiba el arte de colocar la carga a bordo para ser transportada con un máximo de seguridad para el buque y su tripulación, ocupando el mínimo espacio posible, evitando averías en la misma y reduciendo al mínimo las demoras en el puerto de descarga.



asegurar una correcta navegabilidad, bien con arenas, guijarros o cualquier otro sustituto. Como norma general, la legislación trató de que la carga de un barco, bien se tratara de mantenimientos, bien de mercaderías, se realizara bajo cubierta, con la doble intención de controlar el volumen máximo de carga permitido y de no "embarazar" la gobernabilidad y defensa de la embarcación, esto es, "para que en todo tiempo los dichos marineros puedan laborar libremente". Era especialmente importante que la banda donde se ubicaba la barca, y por supuesto su interior, estuviera libre de cualquier tipo de cargamento, al igual que el castillo de popa o la zona donde se realizaba la maniobra de fondeo y de localización de anclas y sus cables.

Las bodegas de los navíos que hacían la travesía atlántica almacenaban multitud de aparejos y pertrechos necesarios en la navegación. Se aconsejaba llevar al menos cuatro amarres, consistentes en cuatro anclas y los correspondientes cables, de manera que para una embarcación de unas 100 toneladas, suponían unos 20 quintales.

Como hemos visto en las bodegas también iban armas, como ballestas, espingardas, lombardas, falconetes (además de la artillería que debía ser localizada en cubierta: lombardas de hierro y pequeños falconetes en las bordas) y municiones

La barca de los navíos debía alojarse en lugar seguro bien debajo del castillo, bien debajo de cubierta, pues constituía un elemento vital para la seguridad del barco; además se llevaba por lo menos un esquife⁶ o chalupa. El tamaño de la barca, imprescindible para entrar o salir de ciertos puertos, pasar zonas de bajos, exploración, comunicación entre la flota durante la travesía, embarque y desembarque, carga y descarga, arrastre en situaciones de calma... estaba de acuerdo con el del barco al que servía de auxilio: debía tener una capacidad de 1/50 parte del porte de ésta.

La carga de material pesado, se realizaba con la ayuda de un cabestrante o torno, situado debajo de la tolda, utilizado por lo general para las operaciones de fondeo. Como medio para evitar el fraude en el pago de impuestos y control de cargas, estaba prohibido el cargamento durante la noche, en medio del mar, bajo pena de confiscación, con la excepción de la descarga sin licencia en casos de ataque enemigo, con el fin de salvar la carga.

La persona responsable tanto del buen aparejo del navío, como de las mercaderías que se iban cargando y estibando era el maestro, quien llevaba

6. Barco pequeño que se lleva en el navío para saltar a tierra y para otros usos.



cuenta de todo, además de revisar el estado de las velas, jarcias, timón, instrumentos náuticos y estado general del barco: calafateado, bombas de achique, amarres, esquite y juegos de remos de éste, provisión de aceite, velas, eslabón, yesca, algodón y pedernal (esto último, para poder mantener siempre encendido el candil que debía iluminar la bitácora), y todo el material de respeto o repuesto.

El maestre era asimismo responsable de comprobar el estado de las provisiones de alimentos, entre los que se incluían animales vivos (gallinas, terneras, cerdos..., para alimento, o caballos y perros para el ejército y uso personal en Indias), la importante partida de agua, vino, leña, así como conservar toda la documentación referente a las mercancías que se transportaban, fletamientos y despachos, para evitar cualquier problema aduanero al llegar a puerto. La responsabilidad final del maestre con respecto a todo lo que se cargaba en el barco, queda reflejada en la normativa legal, estando obligado a afrontar las pérdidas imputables a su actuación.

Normalmente las bodegas de los barcos, donde se estibaba la carga, estaban provistas de una protección, formada por un forro de madera que, a modo de doble fondo, evitaba que la carga estuviera en contacto con el agua que usualmente entra por las juntas del casco. Este forro estaba compuesto de tablones colocados en sentido de la manga, apoyados sobre unos maderos o sobre perfiles y no se calafateaban ni se fijaban a los apoyos. La estiba de la carga era, y sigue siendo, un factor importantísimo para la seguridad del buque, de manera que si no se ocupaba la totalidad de la zona de la bodega, o quedaban espacios vacíos, existía el peligro de producirse un movimiento de carga. Para evitarlo, era imprescindible rellenar las bodegas hasta los costados o valerse de lastre.

4.1.2.- Técnicas navales; Instrumentos en el viaje del descubrimiento.

En las grandes navegaciones oceánicas, muchas veces no era suficiente seguir un rumbo y conocer la velocidad, sino saber donde se estaba. Este problema, no era fácil de resolver, y dio lugar a grandes errores, especialmente a lo que se refiere a la determinación de la longitud. Colón se sirvió de la simple estima siempre que esto le era suficiente. Pero en otros casos necesitaba, después de muchos días de navegación, o al descubrir alguna isla desconocida, saber en qué lugar del mundo se encontraba.



- Astrolabio y cuadrante.

Para tomar la altura del sol o de la Polar, los navegantes se valían de instrumentos medidores de ángulos, como el astrolabio, el cuadrante y la ballestilla.

La invención del astrolabio no era tan reciente. Ya los árabes utilizaron instrumentos de este tipo, lo mismo que los astrónomos de Alfonso X. Los portugueses lo perfeccionaron, y tanto más cuanto más lejos llegaban y más necesarias se hacían las medidas de la latitud.

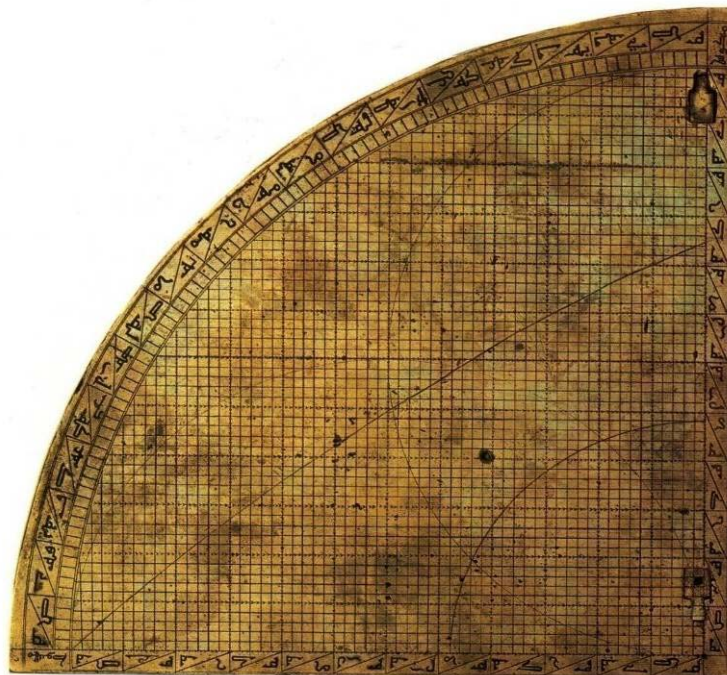
Consistía en un círculo, o sección de un círculo, dividido en grados con un brazo móvil montado en el centro de dicho círculo. Cuando el punto cero del círculo se orienta con el horizonte, la altura de cualquier objeto celeste se puede medir observando el brazo. Había dos medios para lograr esta posición correcta: colgar el astrolabio de un trípode, que lo dejaba en posición vertical o utilizar una plomada pendiente del eje central del astrolabio o cuadrante. Por las anotaciones que hace Colón en sus diarios, parece que utilizó un instrumento de este segundo tipo pero no se sabe a ciencia cierta si llevaba astrolabio o cuadrante. En el diario de navegación se alude casi siempre al cuadrante y a veces a astrolabio y cuadrante. La referencia concreta a la plomada data del relato del tercer viaje.

En realidad, era innecesario manejar un aparato como el astrolabio, debido a su gran tamaño y peso, cuando todo lo que necesitaba el navegante era medir alturas entre 0° y 90° . Por eso se impuso lógicamente el uso del cuadrante, que sólo desarrollaba un cuarto de círculo. Había cuadrantes con alidada móvil, como en el astrolabio, pero el método más ingenioso consistía en utilizar como alidada fija uno de los lados rectos del instrumento (con dos agujeros en sus extremos para afinar la puntería), mientras que era la plomada la que media el ángulo. Apuntados los dos agujeros(o pínulas) en dirección horizontal la plomada marcaba 0° , y dispuestos en vertical marcaba 90° .





Astrolabio árabe.



Parece ser que Colón, en su viaje descubridor, dispuso ciertamente de un cuadrante, mucho más ligero y manejable que el astrolabio, y que sólo desarrolla un cuarto de círculo.



- La ballestilla.

El cuadrante es más ligero y manejable que el astrolabio, pero mucho más lo es la ballestilla, llamada también rayo visorio, bastón de Jacob, cruz geométrica o verga de oro. Quizás su existencia fuera anterior al astrolabio, pero la noticia más antigua que tenemos de la ballestilla es una descripción que hizo un judío catalán llamado Levi Ben Gerson en 1342.

La ballestilla es extraordinariamente ingeniosa, no mide el ángulo directamente como el astrolabio o el cuadrante, sino por su tangente, o por la tangente de su mitad. Es una vara de madera sobre la que se desliza una vara cruzada más pequeña (sonaja). El marino aplicaba el ojo en un extremo del instrumento, dirigía éste hacia la estrella cuya posición quería medir y deslizaba la vara cruzada hasta que la parte inferior de ésta coincidía con el horizonte y la superior con la estrella. La altura de la estrella (ángulo que forma con el horizonte) se leía directamente en una graduación grabada en la vara principal. Naturalmente cuanto mayor sea el ángulo que se quiera medir, más hay que acercar la sonaja al ojo del observador, cuanto menor sea el ángulo, más hay que alejarla.

La ballestilla prestó en otros tiempos servicios de importancia vital. Sobre la flecha o brazo mayor de la cruz va marcada una escala que mide por grados. No hace falta saber mucha geometría para darse cuenta que las divisiones de una escala graduada así no pueden estar separadas por distancias iguales. Para ángulos muy bajos las divisiones van muy juntas, y para grandes ángulos, muy separadas. Por definición, una ballestilla no puede medir ángulos de 0° o de 90° . A pesar de sus limitaciones y de las dificultades para trazar una escala correcta, la ballestilla es un instrumento maravillosamente práctico: ligera, transportable, ágil de movimiento, fácil de manejar, no necesita de soportes o plumadas y puede usarse en cualquier tiempo y lugar. Acabaría imponiéndose en el siglo XVI.





Ilustración sobre el uso de la ballestilla tomada de Navegación Práctica por John Sellers, (1672)

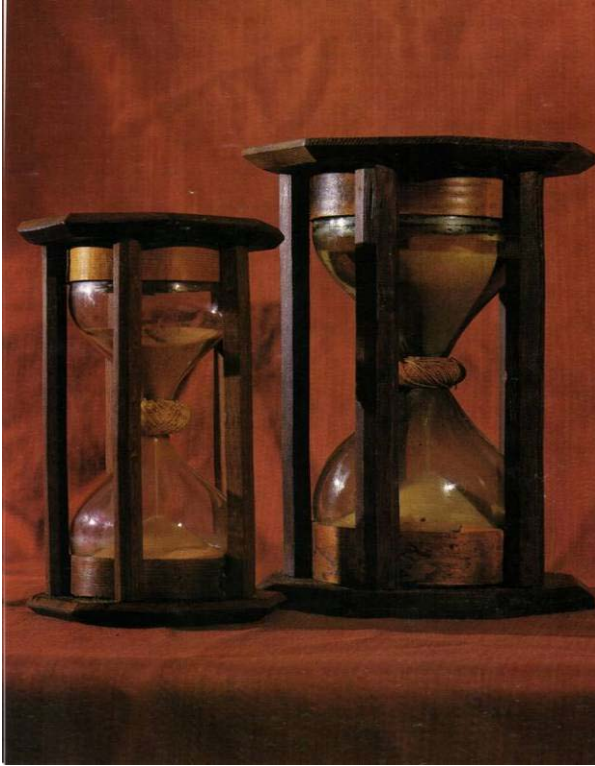
- Hora y longitudes.

Si difícil era tomar la altura (latitud), la determinación de las longitudes era por entonces, como ya hemos visto, un problema irresoluble. Podía conocerse bastante bien la hora del mediodía por la altura del sol (el momento en que las sombras son más cortas.), y a partir de ahí, o del orto, o del ocaso, podía contarse el tiempo por medio de “ampolletas” o relojes de arena. Las ampolletas eran imprescindibles para medir tiempos cortos, por ejemplo los intervalos entre las distintas guardias, y constituían un elemento imprescindible para todo marino. No servían para medir tiempos largos, ni para “conservar la hora” del punto de partida. El navegante podía calcular bastante bien el momento del mediodía a bordo, pero no cuántas horas le separaban del momento en que era mediodía en Cádiz o Lisboa. Y sin saberlo no podía determinar la longitud. Sólo quedaba el socorrido sistema de los eclipses de luna, y sabemos que Colón lo utilizó por lo menos dos veces: las dos se equivocó por un margen de error bastante grande.

Las medidas eran inevitablemente imperfectas, pero necesarias, por lo menos a título orientativo. Todavía cuando los portugueses costeaban audazmente el perfil de África no era imprescindible conocer la posición; para volver a casa, todo consistía en dar la vuelta e ir siguiendo la línea de costa en sentido inverso.



Cuando Colón, por primera vez en la historia, se adentró de lleno en la inmensidad del océano, lejos de toda tierra conocida, las condiciones cambiaron drásticamente: si quería saber dónde estaba, tenía que preguntar a las estrellas.



La ampolleta, llamada también reloj de arena, se usaba para medir (mejor dicho estimar) el tiempo. Estaba compuesta por dos conos de vidrio unidos por su vértice. La arena se deslizaba en un pequeño chorro continuo de cono superior al inferior. Las ampolletas de Colón medían periodos de 30 minutos (una “vuelta” entera, una hora). Se usaba junto con la corredera para medir la velocidad del barco a través del agua en nudos.

La aguja de marear.

La aguja de marear era una versión primitiva de la actual aguja magnética o compás. Consistía en una aguja de hierro imantado que llevaba pegado un círculo de cartulina, con una rosa náutica seguramente de 32 vientos, en la que muy posiblemente el norte se marcaba con una flor de lis y el este con una cruz. La aguja iba apoyada en un estilo de cobre o latón, sobre el que giraba con el menor roce posible para señalar el norte magnético. Dado que la aguja era de hierro, había que reimantarla con cierta frecuencia con un imán natural o “piedra de cebar”, que por razones obvias, el piloto solía guardar como oro en paño. El conjunto iba alojado en un armario llamado bitácora, que según descripciones de la época consistía en una caja cilíndrica de madera de un diámetro poco mayor que el de la rosa, en la que iba el estilo y la aguja con su rosa, y tenía una marca fija coincidiendo con la línea de proa para señalar el rumbo del barco. Se podía abrir por el fondo para extraer la aguja y cebarla (imantarla) cuando fuera necesario. La parte alta estaba cubierta por un vidrio sellado con cera. Esta caja iba dentro de otra también de madera y normalmente cuadrada, a la que se apoyaba a través de dos aros concéntricos con apoyos



desplazados 90° , “anejados uno con otro, que sirvan para que no penda la aguja aunque penda la nao”; procedimiento de suspensión utilizado hoy para mantener el instrumento horizontal en el espacio, a pesar de los balances y cabezadas. Colón, en diversas ocasiones hizo referencias a marcaciones al sol o a la estrella polar, que se hacían de una manera bastante rudimentaria; el piloto ponía la mano de canto sobre el centro del cristal de la aguja, la orientaba hacia el astro a observar, y obtenía la lectura de la rosa. Por la forma tan característica de efectuar estas mediciones, se les llamaba “bendiciones del piloto”.



Maqueta de lo que pudo ser “la aguja de marear” que utilizó Colón en su viaje. La pieza se encuentra en el muelle de las carabelas, La Rábida (Huelva).

4.1.3.- Producción Naval.

En general, la carpintería naval ha experimentado una evolución muy lenta; los procedimientos con que se construyó el barco de Colón no fueron muy diferentes de los que ahora utilizan los maestros carpinteros que todavía construyen con madera; parece, en cambio, que se hacía mucho menos uso de dibujos detallados y mucho más de plantillas y reglas mnemotécnicas tradicionales para obtener la curvatura justa y el «empuje» adecuado de las líneas de flotación.



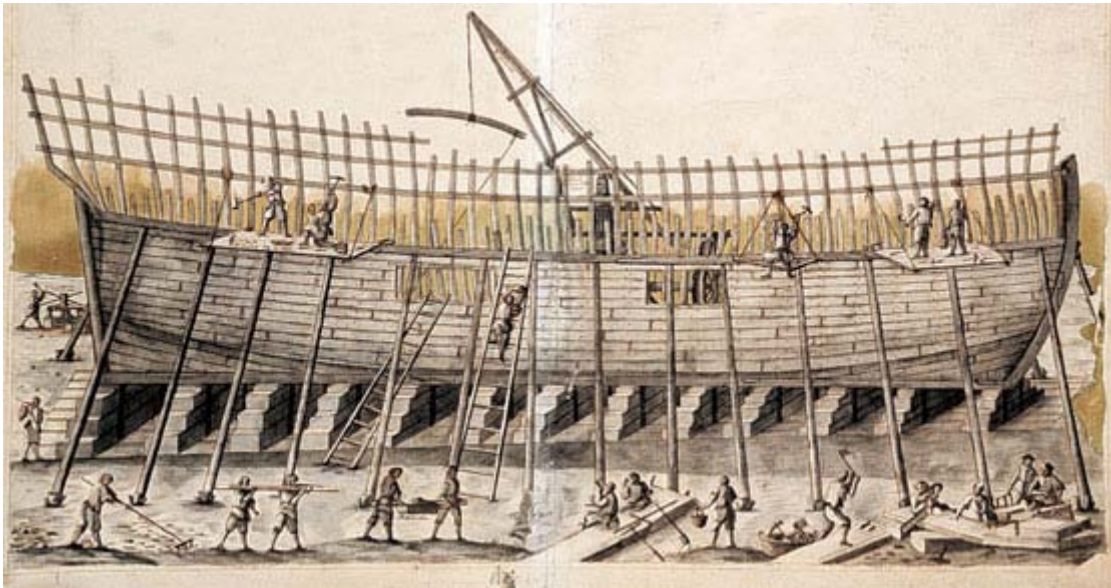
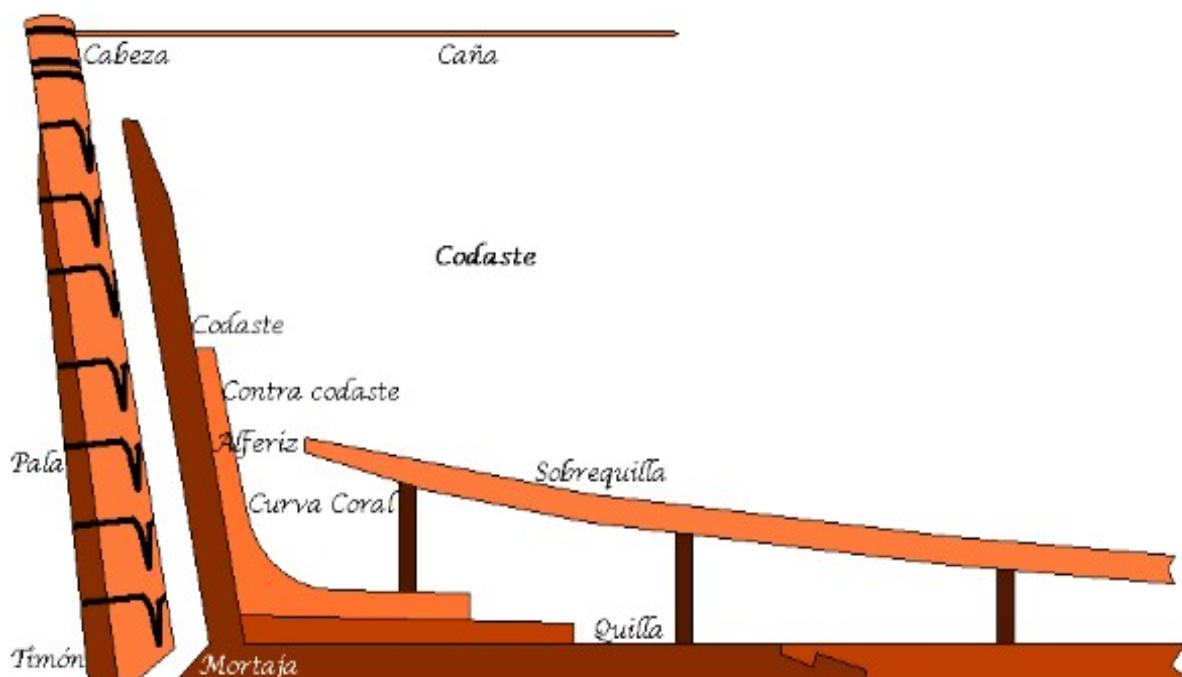
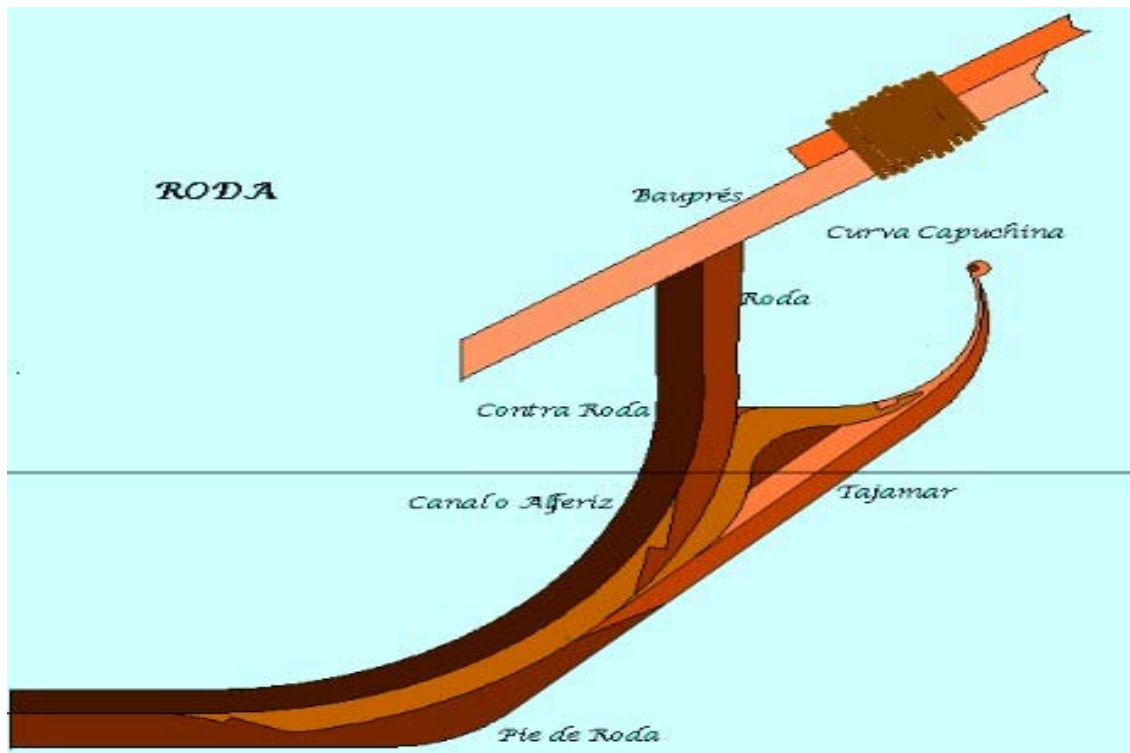


Ilustración del proceso de producción de una nave en el siglo XV. Donde podemos observar las diferentes herramientas y mecanismos empleados para ello, como por ejemplo un cabrestante en la parte izquierda y una grúa en la parte central.

El método empleado para la construcción de un barco era:

1. Se empezaba por colocar en el muelle la zapata o viga de quilla a la que se añadían las varengas y más tarde el codaste (que limita el barco por popa) y la roda (que limita el barco por proa).



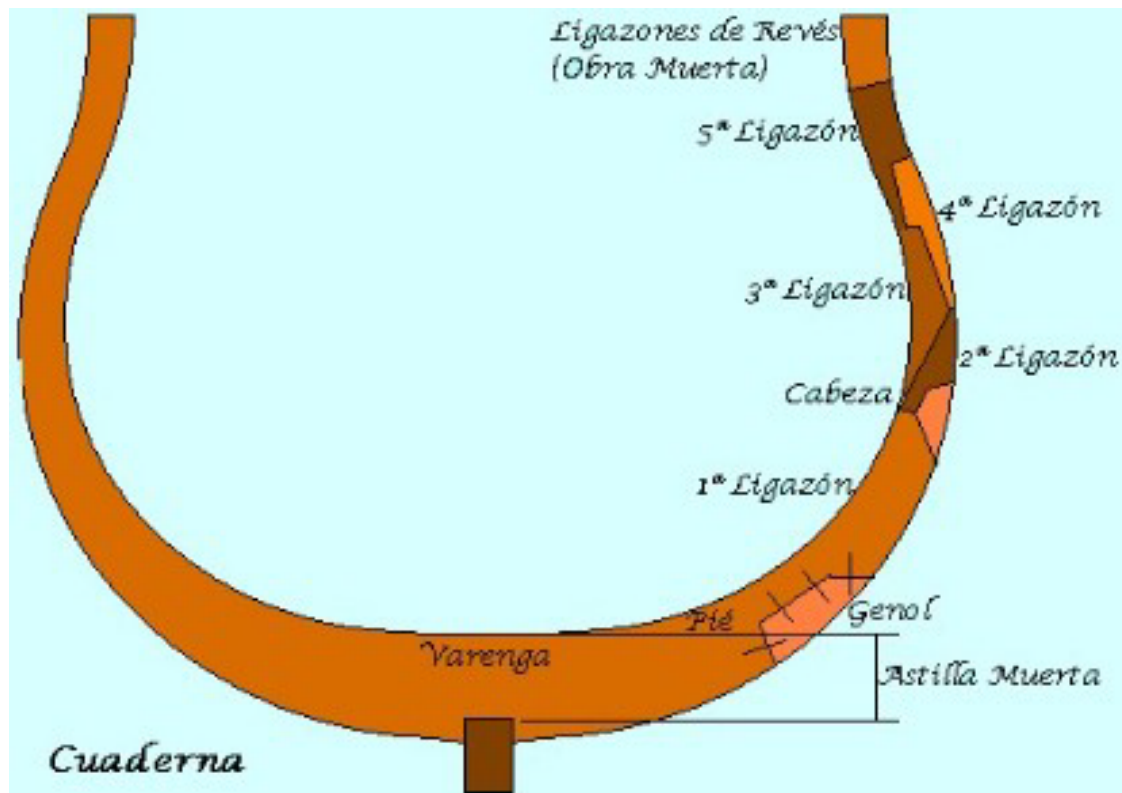


Dibujo perteneciente al libro portugués *Livro da Fábrica das Naus*, del padre Fernando Oliveira, donde podemos observar cómo se divide la quilla en secciones donde se introducirán las cuadernas. Esta, a simple vista, distribución de las secciones, respondía a un complejo algoritmo que se obtenía a través de lo que los portugueses denominaban *graminho*: escala obtenida de la división de la quilla y el número predeterminado de cuadernas que se situarán sobre la quilla.



2. Después se comenzaba la cuaderna, formada por varias piezas, y se seguía hasta completar la “curvadura” o esqueleto del casco.

Obtener piezas con una curvatura especial era ciertamente una operación de gran maestría; aún en el siglo XVIII; para ciertas partes se aprovechaba la conformación natural de la madera todavía sin talar.



3. La aplicación de la tablazón del forro sobre la curvatura del barco, de las tablas de jarcia y de las defensas para guardar los costados del barco, era la última fase de la construcción del casco, que se unía principalmente con clavijas de madera, el metal se utilizaba con mucha moderación.

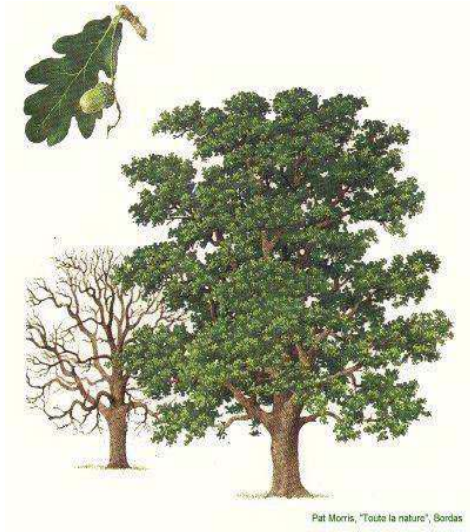
- MANTENIMIENTO:

La zona que quedaba bajo la línea de flotación (llamada obra viva) se untaba con pez para proteger la madera de la acción erosiva de la broma, molusco que roe, hasta destruirlas, las maderas bañadas por el agua del mar.



Materiales

- Maderas empleadas en la construcción naval :
- Roble: dura, compacta, de color pardo amarillento; se emplea en la construcción de quillas, rodas, codastes y cuadernas.



Roble.



Madera de roble.

- Eucalipto: aunque puede agrietarse; se emplea en sobrequillas, palmejares, durmientes, contradurmientes, baos y cuadernas.



Eucalipto.



Madera de eucalipto.



- Pino: Existen muchas variedades; se emplea en forros, interior y exterior cubiertas y arboladura.



Pino.



Madera de pino.

- Castaño: blanda y duradera; se emplea en baos, cuadernas, mobiliarios y puentes.



Castaño.



Madera de castaño.



- Encina: Dura y compacta; se emplea en cuadernas y polines de maquinaria.



Encina.

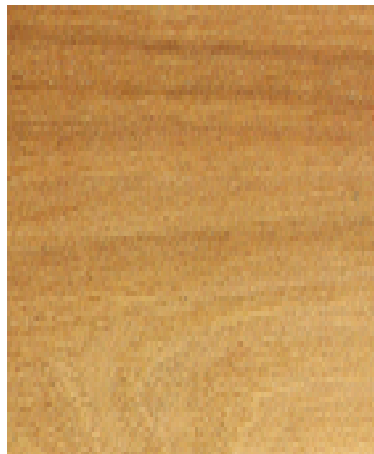


Madera de encina.

- Olmo: Dura y flexible; se emplea en quillas y cintones.



Olmo.



Madera de olmo.

- Teca: dura, elástica e incorruptible; se emplea en quillas, cuadernas, tapas de regala y cubiertas.



Plantación de tecas.



Madera de teca.



*La putrefacción es el principal enemigo natural de la madera y para evitarla se procura curarla o secarla antes de ser despiezada, logrando con ello que la deformación que sufre se produzca antes de su empleo a bordo.

A la hora de elegir un tipo de madera u otra se tiene en cuenta las siguientes propiedades físico - mecánicas:

Peso, resistencia: asociado al peso específico y resistencia mecánica de la madera. Generalmente, maderas más pesadas tienen mayor resistencia mecánica.

Durabilidad natural: referido a la resistencia que presentan las especies al ataque de los diferentes agentes biológicos y climáticos de destrucción, una vez que se pone en servicio sin ningún tratamiento de protección.

Preservación: la capacidad de la madera de ser impregnada con sustancias químicas para prolongar su durabilidad.

Trabajabilidad: capacidad de la madera de ser trabajada con distintos fines (tallados, mueblería, embarcaciones, etc.)

Comportamiento al secado: capacidad de la madera para ser secada natural o artificialmente, sin sufrir alteraciones en su estructura.

- **Principales elementos siderúrgicos empleados en la construcción naval:**

- Los metales ferrosos (hierro y aceros)
- Los metales no ferrosos (cobre, aluminio, cinc, plomo, etc., y sus aleaciones).

Volviendo a las naves del descubrimiento, la descripción de Juan Escalante de Mendoza es la más detallada que se conoce acerca de los materiales empleados: *"la quilla, que es el principio y primer palo para cualquier nao, sobre que ella se arma y funda, debe ser de roble, muy derecha, y si pudiese ser de una sola pieza, será mejor. Y toda la demás madera que se cortare de cualquier árbol, no solamente para nao, mas también para cualquier otro edificio que se haga de madera, conviene que sea cortada cuando se acaba de caer la hoja y fruta del mismo árbol que se quiere cortar, en el principio de los días del segundo cuarto de la menguante de la luna, porque entonces están los árboles con menos humedad y mejor sazón y disposición. Las cuales maderas han de ser cortadas con la sazón que he dicho, y curadas al sol, y pasar por ellas a lo menos un año antes de que se pongan en el edificio y fábrica de la nao que se pretende hacer.*



Y para las obras altas de las naos, a que los marineros llamamos muertas, es muy buena madera el pino de la villa de Utrera, lugar de la ciudad de Sevilla, u otro que sea de su especie. Y la mejor estopa con que las naos se puedan calafatear es el cerro del cáñamo. Y la brea de Vizcaya es muy buena echándole en abundancia de sayn de ballena. Los clavos deben ser de hierro que no sea de lo muy agro, aunque si no fuese a mas costa, serían mejores de bronce, porque es muy durable y no lo gasta ni consume el orín tan presto como el hierro. Y no se deben clavar con cabillas de palo las naves que han de navegar a los puertos meridionales, como les suelen clavar fuera de España, en Flandes, Francia e Inglaterra y otras partes.

Los mástiles y entenas serán muy buenos de pinos del que se trae de Flandes, que está experimentado, que no hay madera más competente para ello, especialmente del pino a que los flamencos llaman Prusa. Las gavias deben ser las más livianas que se pudieren, por que no den a la nao peso ni demasiado pendor, que es lo que siempre se debe mirar y pretender, y así se deben hacer de madera más liviana. La mejor jarcia es la que se hace de cáñamo que se dice de Calatayud, y más sendo alquitranada en hilo antes que sea colchada y torcida. Las velas serán mejores cuanto mas delgadas, recias y topidas, y el mejor lienzo que para ellas se halla es el de las olonas de Pondavid, y después las de Villa de Conde do Portugal, como se tiene visto por exacta evidencia en estas nuestras navegaciones".

Juan Escalante de Mendoza participó en la conquista y colonización de las Indias (América). Marino y escritor, nació –según él mismo confiesa en el prefacio de su tratado de navegación y náutica– «en las nobles y antiguas casas y solares de Noriega y la Concha de Colombres en el valle de Riba de Deva en la diócesis de Oviedo».

4.1.4.- “Las Tres Carabelas”.

- Nao “Santa María”.

La Santa María, era el mayor de los tres barcos empleados por Cristóbal Colón en su primer viaje al Nuevo Mundo en 1492.

La Santa María era una "nao", usada como "nao capitana" durante la expedición. Su propietario era Juan de la Cosa. El 25 de diciembre de 1492, la nave encalló en la costa noroeste de la actual Haití, quedando inservible y sus maderas se usaron para construir un fortín con empalizada que fue llamado "Fuerte Navidad".

La Santa María fue llamada originalmente La Gallega, probablemente porque se construyó en Galicia. Bartolomé de Las Casas nunca usó los nombres ni de La Gallega, ni Santa María, sino que la llamaba la Capitana o La Nao. Existe otra teoría que dice que fue construida en los Astilleros Reales de Falgote en la



localidad de Colindres en Cantabria, mientras que otras voces afirman que fue construida por los carpinteros de ribera de El Puerto de Santa María.

La Santa María tenía 36 metros de eslora y tres mástiles. Era el barco más lento de los tres de la expedición. La diferencia entre carabela y nao reside en la eslora, que es mayor en la nao, lo que le da mayor capacidad de carga.



Réplica de la *Nao Santa María* en el Muelle de las Carabelas, en Palos de la Frontera.



Clase	Carraca de tres palos
Puesta en grada	1480
Destino	Encallada cerca de Haiti y desguazada para la construcción de un fuerte
Eslora	29,60 metros
Manga	7,96 metros
Calado	2,10 metros
Armamento	
Propulsión	vela
Tripulación	39 hombres

- La Pinta.

La Pinta había sido construida en los astilleros de Palos pocos años antes del primer viaje. Fue elegida por Martín Alonso Pinzón por sus cualidades náuticas, ya que él mismo la había alquilado anteriormente; la costeó el Concejo de Palos.

Su nombre hizo pensar a algunos historiadores que pertenecía a la familia Pinto, pero en realidad fue alquilada a los armadores Gómez Rascón y Cristóbal Quintero, que fueron en ella a América como marinos, por lo que probablemente su verdadero nombre fuera "La Pintá". Era una carabela nórdica de velas cuadradas con un velamen muy sencillo. Los palos de mesana y mayor iban aparejados con una vela cuadrada de grandes dimensiones, en tanto que el trinquete portaba una vela latina.

La Pinta era la más velera de las tres naves colombinas (La Pinta, La Niña y la Santa María) y con frecuencia tenía que esperar a las otras dos durante el histórico viaje, debido esto también a las dotes del capitán Martín Alonso Pinzón. El 8 de octubre, en lucha por llegar los primeros a descubrir las nuevas tierras, alcanzó una velocidad de 15 millas por hora (una milla de la época equivale a 0,8 millas náuticas actuales, por lo que su velocidad sería de unas 12 millas por hora), superior a la que puede alcanzar hoy un mercante de vapor medio.

Con motivo del quinto centenario del descubrimiento de América se construyó en Isla Cristina una réplica que repetiría, junto con la Niña y la Santa María, el viaje original. El 8 de agosto de 1989 fue botada en el puerto de Isla Cristina y



debido a obligaciones de protocolo sufrió un vuelco por el escaso calado del puerto en la hora prevista del evento. El acto fue presidido por la infanta Cristina.



Réplica de la carabela «La Pinta» en el Muelle de las carabelas, Palos de la Frontera.



Clase	Carabela de velas cuadradas
Puesta en grada	Sin fechar
Eslora	22,75 metros
Manga	6,60 metros
Calado	1,85 metros
Propulsión	vela
Tripulación	25 hombres

- La Niña.

Construida en los antiguos astilleros del puerto de la Ribera de Moguer entre 1487 y 1490, en su botadura sobre el río Tinto, la nave recibió el nombre de "Santa Clara" (en honor al Monasterio de Santa Clara de dicha localidad), aunque pasaría a la posteridad con el nombre de sus propietarios, los hermanos Niño. Fabricada con maderas de pino y chaparro, su primitivo velamen latino fue transformado a velas cuadradas en la escala que la flotilla descubridora realizó en las Canarias, y ya en la isla de La Española se le instaló, junto a sus palos de trinquete, mayor y contramesana, un nuevo palo de mesana. Las velas de La Niña carecían de rizos, por lo que no tenían un sistema de cabos que permitiera reducir la superficie en caso de fuerte viento. Las jarcias que sostenían los palos estaban enganchadas en los costados del buque. La carabela carecía de castillo de proa, mientras que el alcázar era bastante pequeño.

Cristóbal Colón, en presencia del escribano Alonso Pardo, confiscó dos naves que después fueron desechadas. Finalmente los Pinzón eligieron a La Niña junto con La Pinta por ser muy maniobrable. La costeó el Concejo de Palos como le fue ordenado en la real provisión enviada por los monarcas a esta localidad.

La Niña atravesó el Atlántico en el viaje descubridor capitaneada por Vicente Yáñez Pinzón, con Juan Niño como maestre y pilotada por Sancho Ruiz de Gama. Tras el hundimiento de la carabela Santa María, se convirtió en la nave capitana de la expedición. Al mando de la carabela La Niña iba Cristóbal Colón, y de la carabela La Pinta Martín Alonso Pinzón.

El día 14 de febrero de 1493 a la altura de las Islas Azores se cruzaron con una fuerte tempestad que estuvo a punto de hacer naufragar las embarcaciones. Con el pasar de las horas la violencia de la tempestad provocó la pérdida de



contacto entre las carabelas y la tripulación de La Niña empieza a temerse lo peor. En ese momento Cristóbal Colón, decidió echar en suerte el peregrinar en romería al Convento de Santa Clara como acción de gracias para superar tan difícil situación (Voto colombino).

Tras arribar de nuevo al puerto de Palos, el 15 de marzo de 1493, se encaminó hacia Moguer, con Cristóbal Colón, los Niño y el resto de la marinería moguerena, algunos indios y papagayos. La gente, alegre, los vio llegar al Convento de Santa Clara donde cumplieron el voto realizado. Encendieron un cirio y estuvieron aquella noche en vigilia.

El 25 de septiembre del mismo año formó parte de la flotilla del segundo viaje de Colón. Ya en las nuevas tierras, partió como capitana de un viaje de exploración en el que se descubrieron Jamaica y la costa sur de Cuba.

Nuevas noticias de La Niña, ya por entonces propiedad de la Corona, nos llegan desde el puerto de Haití, donde un ciclón hunde en el verano de 1495 a todos los barcos amarrados a puerto, excepto a esta carabela, que aunque sufrió algunos daños, fue el único navío que no naufragó.

Esta capacidad de mantenerse a flote fue quizás determinante para que La Niña sirviese de modelo al primer barco construido en América, la carabela Santa Cruz, conocida como La India. Regresa a España con la segunda expedición colombina el 11 de junio de 1496.

En los años posteriores, la Corona encomienda el gobierno de La Niña a Alonso Medel, quien realiza con la carabela varios viajes comerciales. En el transcurso de una de estas expediciones es capturada por barcos corsarios franceses, algunos de cuyos tripulantes, naturales de El Puerto de Santa María, son sobornados con 30 ducados por Medel, y ayudan al español a escapar de los corsarios.

El último viaje de La Niña del que tenemos noticia fue una expedición a Haití, después de que el navío fuese reparado y calafateado en Palos, con un coste de 35.000 maravedíes.

Apenas 35 días después de su partida, La Niña arriba a Haití en uno de los más rápidos viajes trasatlánticos de la historia.

A partir de ese momento no tenemos noticias fiables de la suerte de La Niña, aunque una mención a una carabela Santa Clara, gobernada por Alonso Prieto en 1508, nos lleva a pensar que la carabela moguerena, una de las naves más famosas de la historia, navegaría todavía unos años más entre el viejo y el nuevo continente que ella ayudó a descubrir.





Réplica de la carabela *La Niña*, en el Muelle de las Carabelas, *La Rábida* (Palos de la Frontera).



Clase	Carabela de velas latinas
Puesta en grada	Entre 1487 y 1490
Destino	Desconocido
Eslora	21,40 metros
Manga	6,28 metros
Calado	1,78 metros
Propulsión	vela
Tripulación	20 hombres

4.2.- Ingeniería Mecánica.

"La ciencia de la Mecánica es aquella disciplina que muestra las razones y descubre las causas de los efectos milagrosos que vemos que se producen con diversos instrumentos, como lo es mover y levantar pesos muy grandes con muy poca fuerza".

Así es como Galileo, en su obra "le mecaniche", comienza a hablar acerca de la naturaleza y los cometidos de la ciencia mecánica. Pero Todavía en época de este había quienes, de manera fraudulenta, se dedicaban a ofrecer máquinas con poderes mágicos, capaces de engañar a la naturaleza, es decir, de vencer las fuerzas naturales con el empleo de fuerzas pequeñas.

Galileo tenía, por tanto, más de un motivo para declarar explícitamente, desde el principio de "le mecaniche", que en la Mecánica no existe milagro alguno, es decir, no entraña nada que escape a la comprensión de la mente humana; es más, no sólo omite cualquier tipo de referencia a los "efectos milagrosos", sino que además afirma a las claras que las máquinas no tienen poder para "engañar" a la naturaleza, ya que "no se les ha concedido, con poca fuerza, mover y levantar pesos muy grandes". Ninguna resistencia, dice Galileo, "puede ser superada por una fuerza que no sea más potente que ella". Por tanto, para superar una resistencia dada se necesita emplear una fuerza "más potente" que ella. Las máquinas tienen la capacidad de hacer "más potente" la fuerza empleada, pero no porque posean una "virtud milagrosa", sino porque en su funcionamiento entran en juego, además del peso que hay que elevar o



trasladar y la fuerza que debe provocar el movimiento, otras magnitudes físicas oportunamente combinadas con esas acciones, esto es, la distancia a la que el peso debe ser trasladado y el tiempo necesario para efectuar tal traslado, o sea, la velocidad con la que se produce el movimiento. Cuando se tengan en cuenta estas magnitudes, se puede comprender que no hay milagro alguno en el funcionamiento de las máquinas, sino que este obedece a leyes naturales perfectamente comprensibles para la mente humana. En suma, como Galileo dirá en sus "Discursos en torno a dos nuevas ciencias":

"El reconocimiento de la causa de los efectos elimina la maravilla".

Pero la mayoría de los encargados en la producción de máquinas en el siglo XV eran artesanos que tenían pocos conocimientos sobre teorías matemáticas o de los fundamentos teórico-científicos del mecanismo. Aun así, eran capaces de construir dispositivos muy precisos.

La tecnología en el siglo XV estaba basada en la utilización de máquinas simples o una combinación de éstas, con el propósito que siempre ha buscado el ser humano: facilitar el trabajo, realizarlo con mayor eficiencia y menor esfuerzo. Una máquina simple es un instrumento sencillo de una sola pieza que sirve para hacer un trabajo y, cuando varias máquinas simples trabajan en conjunto, hablamos de una compuesta. En una máquina simple se cumple la ley de conservación de la energía, la cual dicta que la energía ni se crea ni se destruye sino que sólo se transforma.

Para comprender el funcionamiento de las máquinas, debemos tener noción de qué es una **fuerza**. Se le llama fuerza a cualquier acción o influencia capaz de modificar el estado de movimiento o de reposo de un cuerpo, es decir, de imprimirle una aceleración modificando la velocidad, la dirección o el sentido de su movimiento. Una fuerza puede mover un objeto que estaba en reposo, una fuerza puede detener un objeto que se encuentra en movimiento, una fuerza puede hacer cambiar la forma de los objetos.

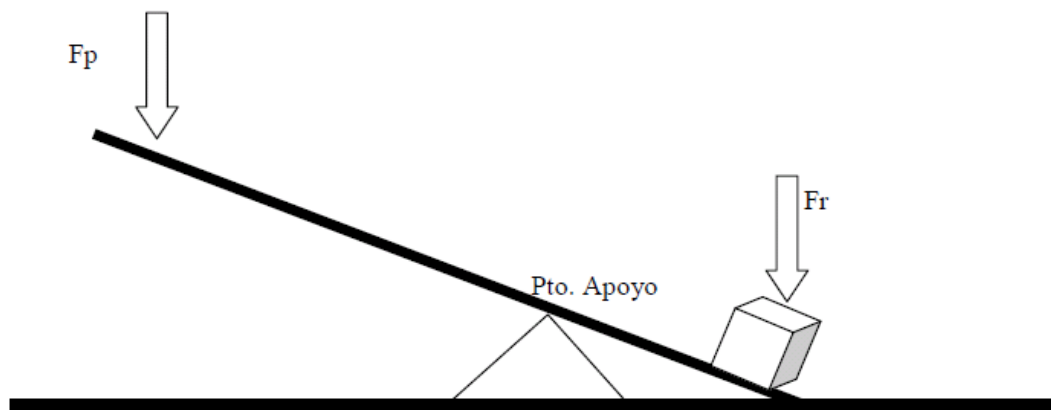
La fuerza se representa también por una expresión matemática:

$$F = m \times a; \text{ donde } F = \text{Fuerza, } m = \text{masa, } a = \text{aceleración}$$



Las máquinas emplean en su funcionamiento, tres elementos fundamentales:

1. Punto de apoyo: es el punto sobre el cual se apoya o se mueve la máquina, también llamado fulcro, punto de eje o superficie sobre la cual se apoyan los dos próximos elementos.
2. Fuerza motriz o potencia (F_p): es la fuerza que se aplica para hacer funcionar la máquina.
3. Fuerza de resistencia (F_r): es la fuerza que hay que vencer para mover o deformar un cuerpo.



Otros elementos que deben considerar en el rendimiento de las máquinas son:

- La distancia entre el punto en el que se aplica la potencia y el punto en el que se realiza el apoyo.
- La distancia entre el punto de apoyo y el punto de aplicación de la resistencia.

Volviendo a los estudios de la Estática del siglo XVI, la fuerza ejercida para provocar el movimiento (la potencia), la fuerza que opone el peso que se quiere mover (la resistencia), la distancia y el tiempo (o bien la velocidad, ya que nos referimos a espacios diferentes recorridos en el mismo tiempo) son magnitudes estrechamente ligadas entre sí mediante una ley de compensación; es decir, una ley, según la cual, lo que se gana en un sentido se pierde en otro sentido y viceversa. Si, volviendo al ejemplo de Galileo, se hace uso de una palanca para elevar un peso, se puede emplear una potencia más pequeña que la resistencia del peso, pero ello requiere que esta potencia recorra un espacio mayor que el



recorrido por el peso, y, en consecuencia, que se mueva con una velocidad mayor que la del peso, el cual se elevará a lo largo de un espacio menor y a menor velocidad. Nada nuevo respecto al pseudo-Aristóteles, si Galileo no hubiera declarado explícitamente que potencia, resistencia, tiempo y espacio (o sea, velocidad) siguen una ley exacta de proporcionalidad.

Todas las maquinas presentan las siguientes características:

1. Producen la transformación de la energía que reciben.
2. Utilizan la energía para funcionar.
3. La energía que reciben para su funcionamiento no es aprovechada completamente, debido a que parte de ésta se pierde en la fricción o roce.

En el caso de una máquina simple, la ventaja mecánica es el parámetro que resulta de dividir el valor numérico de la resistencia de un cuerpo entre la fuerza aplicada sobre este:

$$V.M = Fr / Fp$$

La ventaja mecánica puede ser de dos tipos:

- ventaja mecánica teórica (VMT): es obtenida de las supuestas condiciones ideales (miembros rígidos provistos de peso, ausencia de fricción, etc).
- ventaja mecánica práctica (VMP): siempre es menor que la teórica, ya que en la práctica no existe el rendimiento de una máquina del 100%.

Cuando la fuerza resistente es el peso de una carga, hay que calcular su valor a partir de la masa de la carga y de la aceleración de la gravedad, resultando:

$$Fr = masa \times gravedad$$

Aquí podemos ver el término de gravedad, el cual, es la primera definición de “le mecaniche”, y dice así:

"Llamamos, por tanto, gravedad a la tendencia a moverse naturalmente hacia abajo, la cual, en los cuerpos pesados, se descubre causada por la mayor o menor abundancia de materia por la que estén constituidos".



La gravedad es, por tanto, la "tendencia", o sea disposición, inclinación natural de los cuerpos pesados a caer hacia abajo. Tal "tendencia" depende de la constitución de los cuerpos materiales, de su "abundancia de materia", o sea, de la mayor o menor condensación de los átomos que los constituyen, es decir, de su peso específico. A lo largo de "le mecaniche", Galileo confirma y precisa mejor el sentido de esta definición de gravedad, en donde, introduciendo el plano inclinado, dice:

"No hay ninguna duda de que la constitución de la naturaleza acerca de los movimientos de las cosas pesadas es tal que cualquier cuerpo que en sí contenga gravedad, tiene tendencia a moverse, si no se le impide, hacia el centro; y no solamente por la línea recta perpendicular, sino incluso, cuando no pueda hacerlo de otra manera, por cualquier otra línea que, teniendo alguna inclinación hacia el centro, vaya poco a poco bajando".

También Guidobaldo y Commandino habían conferido a sus estudios una impronta de tipo euclídeo, enunciando algunas definiciones y algunos principios; estos, sin embargo, presentan un defecto de naturaleza lógico-formal, al hacer uso de conceptos no definidos, como gravedad y momento, para definir otros, como centro de gravedad. Por este motivo nos centramos en el tratado "le mecaniche" de Galileo que se presenta como una obra madura y bien meditada. La importancia de esta obra de Galileo, consiste también en el hecho de que en ella se encuentran por primera vez definidos con absoluta claridad conceptos fundamentales de tal ciencia.

4.2.1.- Tipos de máquinas simples (base de la tecnología del siglo XV).

Para comprender mejor la tecnología utilizada en el descubrimiento es necesario conocer los fundamentos principales para el funcionamiento de las máquinas de aquella época. Para ello, vamos a exponer los tipos de máquinas simples que constituían la base de la tecnología mecánica, basada en combinaciones de éstas:

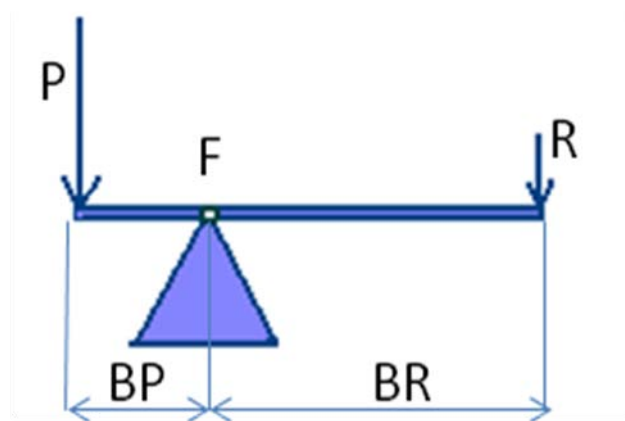
- Palanca

Supone la primera máquina descubierta por el hombre, esto es por el hecho de que es ampliamente usada en la naturaleza, nuestros cuerpos poseen palancas como son los brazos y las piernas.



La palanca es una barra rígida que oscila sobre un punto de apoyo (fulcro) debido a la acción de dos fuerzas contrapuestas (potencia y resistencia).

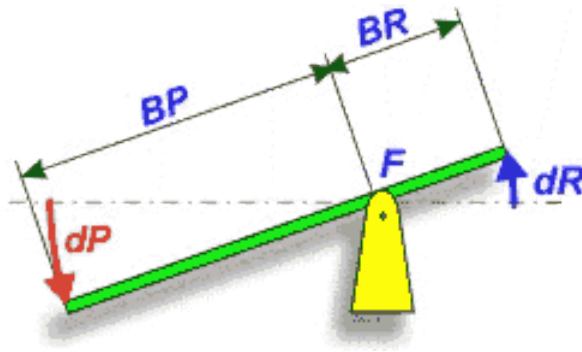
- cuando empleamos la palanca para vencer fuerzas podemos considerar en ella 4 elementos importantes:
 - **Potencia (P)**, fuerza que tenemos que aplicar.
 - **Resistencia (R)**, fuerza que tenemos que vencer; es la que hace la palanca como consecuencia de haber aplicado nosotros la potencia.
 - **Brazo de potencia (BP)**, distancia entre el punto en el que aplicamos la potencia y el punto de apoyo (fulcro).
 - **Brazo de resistencia (BR)**, distancia entre el punto en el que aplicamos la resistencia y el (fulcro).



Cuando el problema técnico a solucionar solamente afecta a la amplitud del movimiento, sin tener en cuenta para nada la intensidad de las fuerzas, los elementos tecnológicos pasarían a ser:

- **Desplazamiento de la potencia (dP)**, es la distancia que se desplaza el punto de aplicación de la potencia cuando la palanca oscila.
- **Movimiento de la resistencia (dR)**, distancia que se desplaza el punto de aplicación de la resistencia al oscilar la palanca
- **Brazo de potencia (BP)**, distancia entre el punto de aplicación de la potencia y el fulcro.
- **Brazo de resistencia (BR)**, distancia entre el punto de aplicación de la resistencia y el fulcro.





Con los cuatro elementos tecnológicos de una palanca se elabora la denominada **Ley de la palanca**, que dice:

La "potencia" por su brazo es igual a la "resistencia" por el suyo.

- Matemáticamente se puede poner:

Potencia x Brazo de Potencia = Resistencia x Brazo de Resistencia

$$P \times BP = R \times BR$$

Si en vez de considerar la intensidad de las fuerzas de la "potencia" y la "resistencia" consideramos su desplazamiento, esta ley la podemos enunciar de la forma siguiente:

El desplazamiento de la "potencia" es a su brazo como el de la "resistencia" al suyo.

Expresión que matemáticamente toma la forma:

$$\frac{\text{Desplazamiento de la POTENCIA}}{\text{BRAZO POTENCIA}} = \frac{\text{Desplazamiento de la RESISTENCIA}}{\text{BRAZO RESISTENCIA}}$$

Para comprender mejor este tipo de máquina no nos podemos olvidar del concepto de momento, que fue definido por Galileo como:



"Momento es la tendencia a ir hacia abajo, causada no tanto por la gravedad del móvil, cuanto por la disposición que se da entre distintos cuerpos pesados; mediante el tal momento se puede ver muchas veces un cuerpo menos pesado servir de contrapeso a otro de mayor gravedad: como en la romana se ve un contrapeso pequeñito levantar otro peso muy grande, no porque lo supere en gravedad, sino más bien por la distancia del punto donde se sostiene la romana; la cual, junto con la gravedad del peso menor, le aumenta el momento e ímpetu de ir hacia abajo, con el que puede superar el momento del otro grave mayor. Es, por tanto, el momento el ímpetu de ir hacia abajo, compuesto por gravedad, posición y alguna otra cosa por la que pueda estar causada tal tendencia".

El momento es también esa "tendencia" de los cuerpos a ir hacia abajo, pero se distingue de la tendencia natural de los cuerpos a caer (gravedad) por el hecho de que él produce el efecto de aumentar la gravedad natural de los cuerpos, su "ímpetu", o sea la violencia, y, consiguientemente, la velocidad de la caída. La causa de esto es que el momento no se debe sólo a la gravedad de los cuerpos, sino a la gravedad combinada con la distancia de los susodichos cuerpos de un punto fijo, o bien respecto a otra magnitud que pueda sustituirse por la distancia.

También se define el concepto de centro de gravedad como:

"Centro de gravedad se define como aquel punto que hay en cualquier cuerpo pesado, en torno al cual se sitúan partes de momentos iguales, de modo que, imaginando que tal cuerpo pesado estuviera suspendido y sostenido por dicho punto, las partes de la derecha equilibrarían a las de la izquierda, las de delante a las de detrás y las de arriba a las de abajo; así que el mencionado grave, sostenido de esa forma, no se inclinará hacia ninguna parte, sino que, colocado en el sitio y la disposición que se quiera, por estar suspendido de dicho centro, permanecerá estable. Y ese es el punto que tendería a unirse con el centro universal de las cosas pesadas, esto es, con el de la tierra, en el caso de que en cualquier medio pudiera descender libremente".

Galileo considera un cilindro homogéneo CDEF suspendido en horizontal por los extremos E y D de un palo rígido de la misma longitud AB, y hace notar que el equilibrio persiste si al cilindro se le cortan los vínculos que lo mantienen suspendido de los extremos A y B y se lo suspende, a su vez, por el punto medio G del palo. En tal caso, de hecho, la perpendicular por G pasará por el baricentro del cilindro, y (dice Galileo) "en torno a dicha línea quedarían partes de momentos iguales". Seguidamente, Galileo corta el cilindro en vertical por la línea IS, que pasa por H, y hace notar que las dos partes resultantes del cilindro,



CISE e IDFS, permanecerán en equilibrio si se suspendieran de los puntos medios M, de AH, y N, de HB, respectivamente.

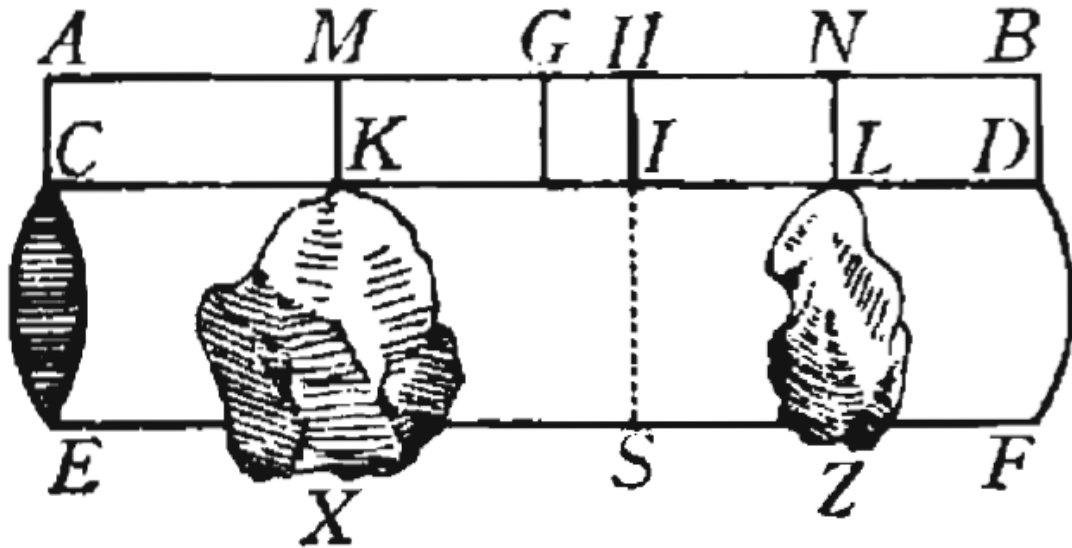


Figura de "le mecaniche". Galileo Galilei.

"Y ya empezará a verse cómo colgando de los puntos extremos de la línea MN los dos graves es, mayor, y SD, menor, resultan de momentos iguales y generan el equilibrio en el punto G, al ser mayor la distancia GN que la GM".

Pero, para hacer ver que efectivamente los susodichos momentos resultan iguales hace falta obtener la relación que se da entre los pesos CS y SD y las distancias NG y GM, Siendo:

$$MH = \frac{1}{2} AH$$

$$HN = \frac{1}{2} HB$$

$$MH+HN = \frac{1}{2} (AH+HB) = \frac{1}{2} AB$$

Por tanto:

$$MN = \frac{1}{2} AB = AG = GB$$

Si entonces, se sustrae a MN y GB la parte común GN, se obtiene:



$$\begin{aligned}MN - GN &= MG \\GB - GN &= NB = HN\end{aligned}$$

Y en consecuencia:

$$HN = MG$$

Añadiendo a ambos miembros de esta igualdad la parte común GH, tenemos:

$$\begin{aligned}MG + GH &= MH \\HN + GH &= GN\end{aligned}$$

Y por tanto:

$$MH = GN$$

Si entonces se considera la relación entre MH y HN, esta será igual a la relación entre GN y MG:

$$\frac{MH}{MH} = \frac{GN}{GN}$$

Por otra parte:

$$\frac{MH}{NH} = \frac{KL}{IL} = \frac{2KL}{2IL} = \frac{CI}{ID}$$

Ahora que CI e ID representan las alturas de los sólidos cilíndricos homogéneos CS=CISE e IF=IDFS, los cuales tienen una base común. Por tanto, a la razón CI/ID se la puede sustituir por la equivalente de los dos sólidos CS/SD; así que se puede escribir:

$$\begin{aligned}CS:SD &= MH:NH \\CS:SD &= NG:GM \quad (2)\end{aligned}$$

Y ya que los cilindros CS y SD pueden ser sustituidos por los sólidos X y Z, de igual peso y suspendidos de los puntos M y N, la (2) resulta:

$$X:Z = NG:GM \quad (3)$$

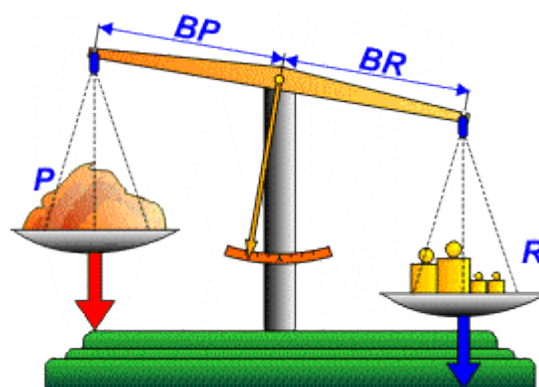
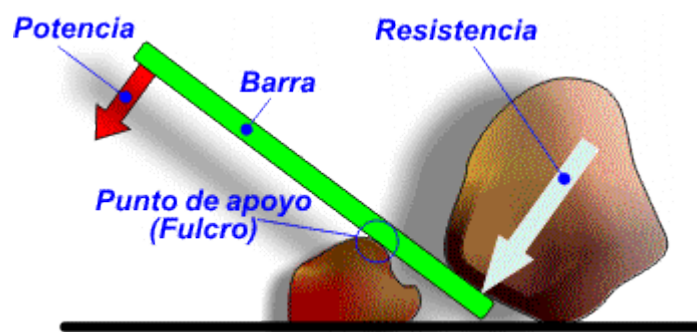


Que expresa la ley general del equilibrio de la palanca, es decir, que los pesos están entre sí en relación inversa a las distancias del fulcro.

Galileo reducirá el estudio de todas las demás máquinas simples al de la balanza, haciendo ver así que la ecuación (3) es principio fundamental, universalmente válido para todas las máquinas simples.

Según la combinación de los puntos de aplicación de potencia y resistencia y la posición del fulcro se pueden obtener tres tipos de palancas:

Palanca de primer grado: Se obtiene cuando colocamos el fulcro entre la potencia y la resistencia. Se emplea siempre que queramos invertir el sentido del movimiento. Como ejemplos clásicos podemos citar la pata de cabra, el balancín, los alicates o la balanza romana, timones de barco...



La palanca de primer grado se emplea siempre que queramos invertir el sentido del movimiento. Además:

Podemos **mantener la amplitud** del movimiento colocando los brazos de potencia y resistencia iguales. Al ser una disposición que no tiene ganancia

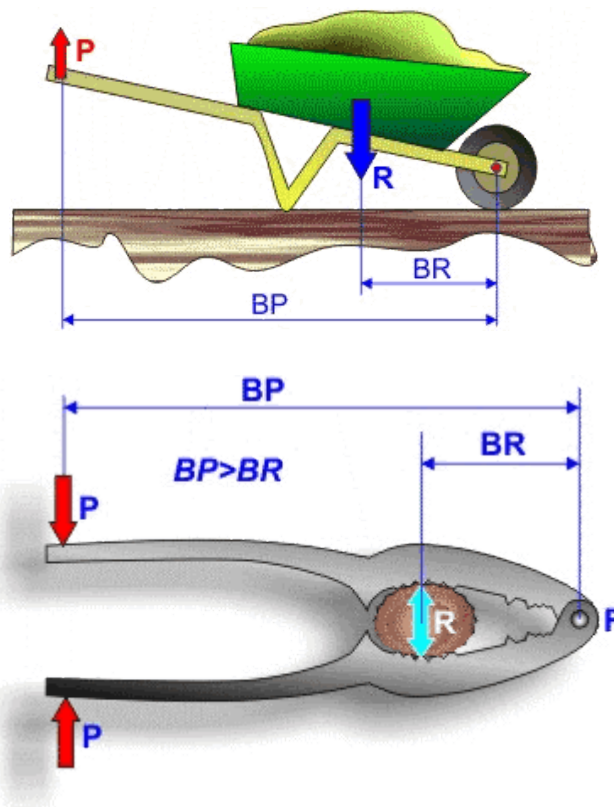


mecánica, su utilidad se centra en los mecanismos de comparación o simplemente de inversión de movimiento.

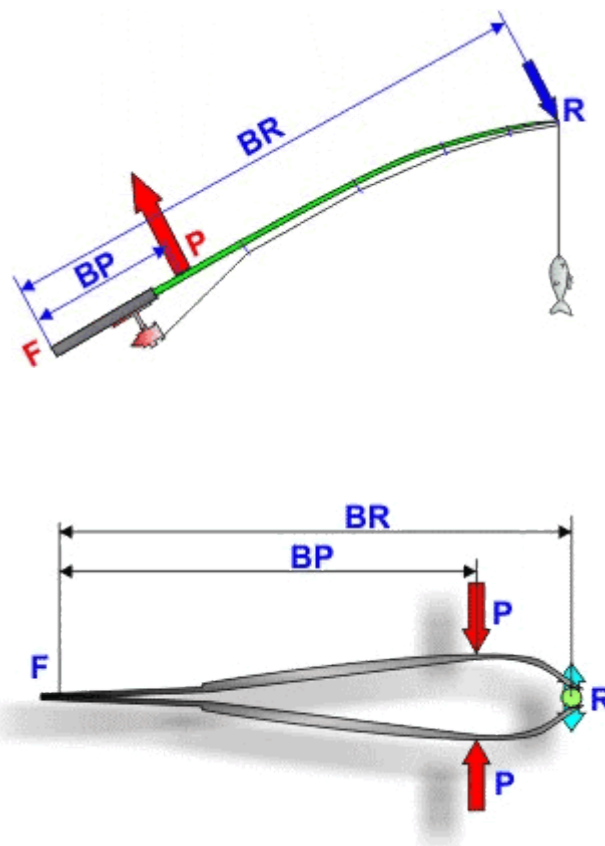
Podemos **reducir la amplitud** del movimiento haciendo que el brazo de potencia sea mayor que el de resistencia. Este montaje es el único de las palancas de primer grado que tiene ganancia mecánica, por tanto es de gran utilidad cuando queremos vencer grandes resistencias con pequeñas potencias, a la vez que invertimos el sentido del movimiento.

Podemos **aumentar la amplitud** del movimiento haciendo que el brazo de la resistencia sea mayor que el de la potencia. Esta solución presenta la ventaja de que a pequeños desplazamientos de la potencia se producen grandes desplazamientos de la resistencia, por tanto su utilidad se centra en mecanismos que necesiten amplificar e invertir el movimiento.

Palanca de segundo grado: La resistencia se encuentra entre el fulcro y la potencia. Según esto el brazo de resistencia siempre será menor que el de potencia, por lo que el esfuerzo (potencia) será menor que la carga (resistencia). Su principal ventaja es su ganancia mecánica, su utilidad principal aparece siempre que queramos vencer grandes resistencias con pequeñas potencias. Como ejemplos se puede citar el cascanueces, la carretilla...



Palanca de tercer grado: Se obtiene cuando ejercemos la potencia entre el fulcro y la resistencia. Esto trae consigo que el brazo de resistencia siempre sea mayor que el de potencia, por lo que el esfuerzo siempre será mayor que la carga (caso contrario al caso de la palanca de segundo grado). Al ser un tipo de máquina que no tiene ganancia mecánica, su utilidad práctica se centra únicamente en conseguir grandes desplazamientos de la resistencia con pequeños desplazamientos de la potencia. Ejemplos típicos de este tipo de palanca son las pinzas de depilar, las paletas y la caña de pescar.



- Plano inclinado:

Un plano inclinado es una superficie que forma un cierto ángulo con otra sin llegar a ser vertical, es decir, siendo el ángulo $0^\circ < \alpha < 90^\circ$.

La utilidad del plano inclinado se basa en la Ley de inercia o primera ley de movimiento que establece que si la fuerza neta sobre un objeto es cero, si el objeto está en reposo, permanecerá en reposo y si está en movimiento permanecerá en movimiento en línea recta con velocidad constante. La

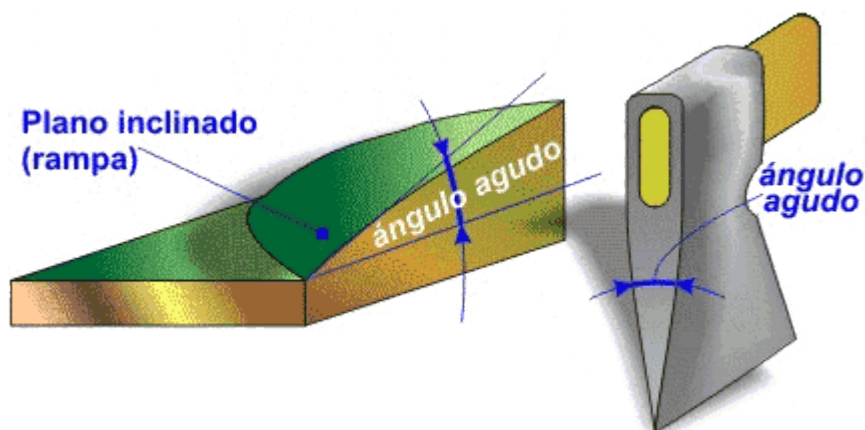


tendencia de un cuerpo a resistir un cambio en su movimiento se llama inercia. La masa es una medida de la inercia de un cuerpo. El peso se refiere a la fuerza de gravedad sobre un cuerpo, que no debe confundirse con su masa.

A partir de la base del plano inclinado ha surgido una importante familia de mecanismos, cuya utilidad tecnológica es indiscutible. Sus principales aplicaciones son:

- Rampa
- Cuña
- Tornillo

A continuación describiremos estas variantes del plano inclinado.

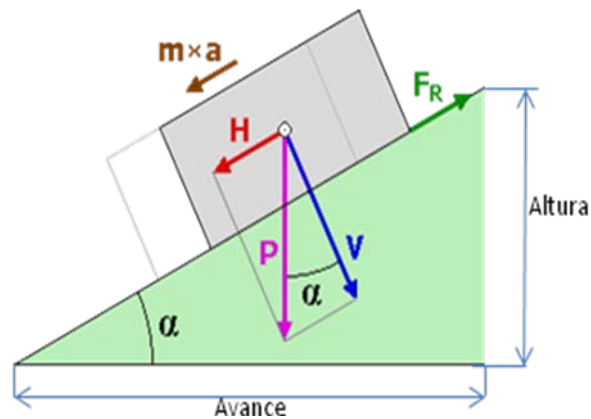


- **Rampa:** es una superficie plana que forma un ángulo agudo con el suelo y se utiliza para elevar cuerpos a cierta altura. Esta forma de plano inclinado aparece en la naturaleza, pero el ser humano también lo ha adaptado a sus necesidades.

La rampa viene definida por su inclinación:

$$\text{Inclinación} \quad i = \frac{\text{altura}}{\text{avance}} \cdot 100 = \frac{h}{l} \cdot 100$$



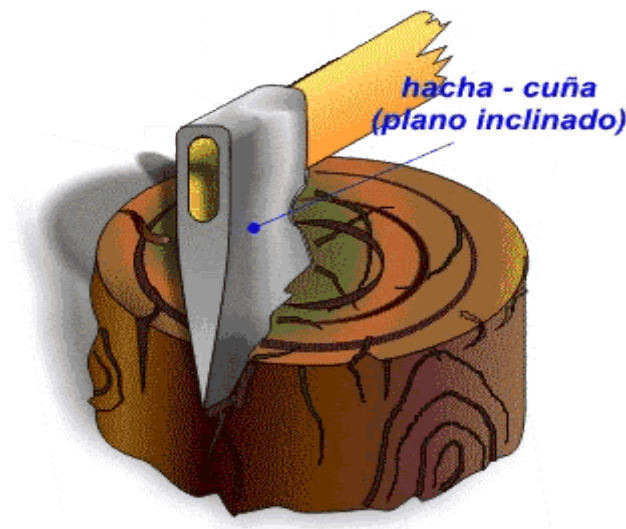


Sus utilidades básicas son dos:

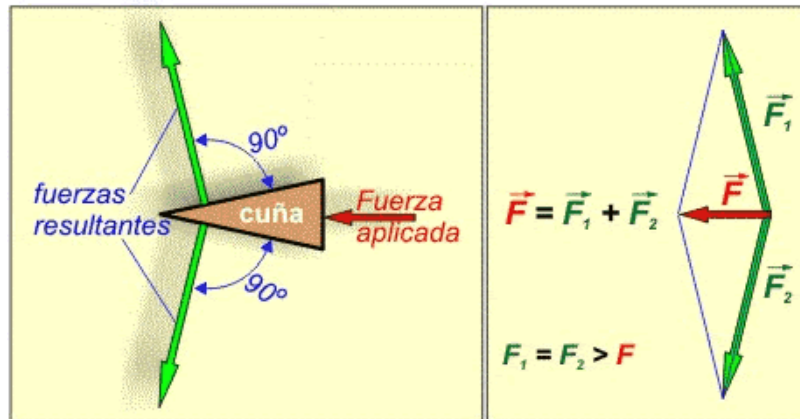
- Permite reducir el esfuerzo que es necesario realizar para elevar o descender un peso. El recorrido es mayor (pues el tablero de la rampa siempre es más largo que la altura a salvar), pero el esfuerzo es menor.

- Dirigir el descenso de objetos o líquidos. Cuando se quiere canalizar el movimiento descendente de un objeto también se recurre a la rampa, pues añadiéndole unas simples guías (o empleando tubos inclinados) se puede conseguir que el camino seguido sea el que nosotros queremos, evitando desviaciones no deseadas.

- **Cuña:** La cuña consiste en una pieza de madera o de metal terminada en ángulo diedro muy agudo. Técnicamente es un doble plano inclinado portátil. Sirve para hender o dividir cuerpos sólidos, para ajustar o apretar uno con otro, para calzarlos o para llenar alguna raja o hueco.



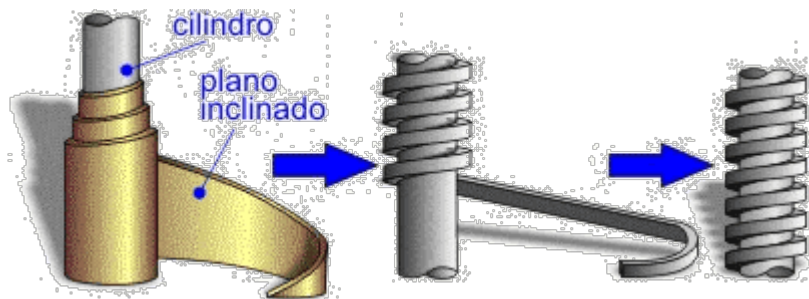
La cuña es un amplificador de fuerzas (tiene ganancia mecánica). Su forma de actuar es muy simple: transforma una fuerza aplicada en dirección al ángulo agudo (F) en dos fuerzas perpendiculares a los planos que forman la arista afilada (F_1 y F_2); la suma vectorial de estas fuerzas es igual a la fuerza aplicada. Las fuerzas resultantes son mayores cuanto menor es el ángulo de la cuña.



La ventaja mecánica de una cuña es la relación entre su longitud y su ancho. Por ejemplo, una cuña de 10 cm de largo por 2 cm de ancho tiene una ventaja mecánica de 5.

Ejemplos muy claros de cuñas son hachas, cinceles y clavos aunque, en general, cualquier herramienta afilada, como el cuchillo o el filo de las tijeras, puede actuar como una cuña.

- **Tornillo:** El tornillo es un operador que deriva directamente del plano inclinado y siempre trabaja asociado a un orificio roscado.



Básicamente puede definirse como un plano inclinado enrollado sobre un cilindro, o lo que es más realista, un surco helicoidal tallado en la superficie de un cilindro.

Su utilidad es la de transformar un movimiento giratorio en uno longitudinal.

- Poleas:

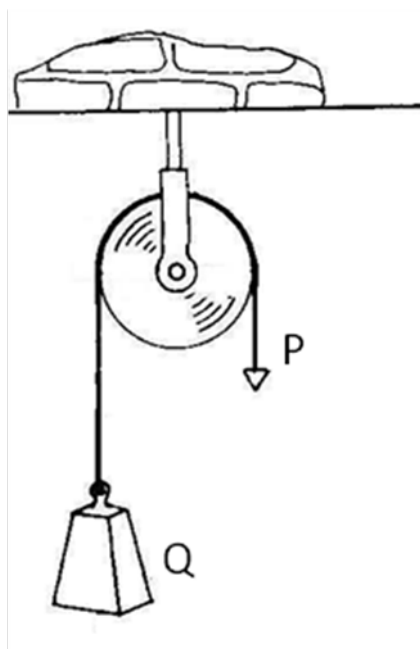
Las poleas son cilindros (discos de metal o de madera) que tienen en la periferia un canal y son utilizadas para multiplicar las fuerzas y cambiar la dirección de una cuerda o cable. Entre las poleas podemos distinguir:

- **Polea fija:** Este sistema no aumenta la fuerza aplicada.

$$P = Q$$

*siendo Q la fuerza peso del cuerpo, y P la aplicada.

Este mecanismo se podía utilizar como bajada o ascensión de diferentes objetos con el fin de dejar caer el cuerpo en la polea y obtener una mayor facilidad y comodidad para ello. El peso del cuerpo tiene que ser igual al de la fuerza externa, en este caso, la fuerza humana para el transporte de objetos.

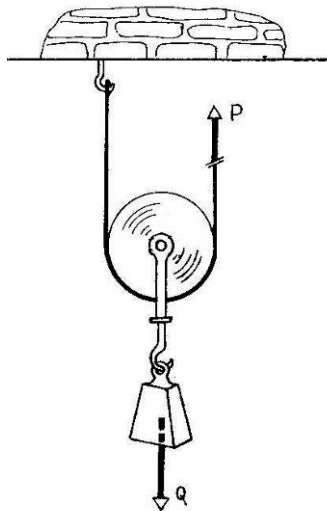


- **Polea móvil:** Uno de los extremos de la cuerda se encuentra fijo, el peso Q está ubicado sobre el eje de la roldana y la fuerza aplicada P en el otro extremo. Se llama móvil por el desplazamiento de la polea que ocurre al ejercer la fuerza P . Este sistema sí amplifica la fuerza aplicada P .

$$P = Q/2$$

*siendo Q la fuerza peso del cuerpo, y P la aplicada.

Como resultado de la combinación de dos o más poleas se forman aparejos, cuya finalidad es reducir varias veces la fuerza peso. Según la disposición de éstas tendremos aparejos potenciales o factoriales

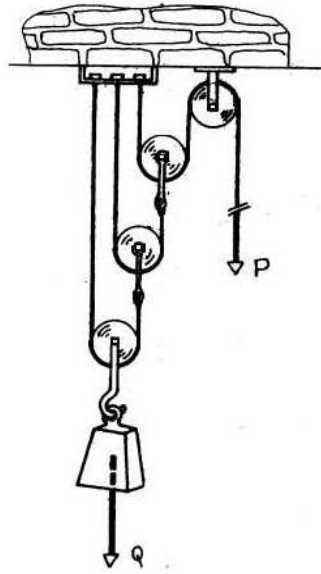


- **Aparejo potencial:** Si por el extremo libre de la cuerda que pasa por la garganta de la polea fija que compone este sistema efectuamos un desplazamiento virtual, este se transmitirá totalmente a la polea móvil, produciendo en el centro de ella un desplazamiento menor al anterior.

$$P = Q/2^n$$

Donde P es la fuerza aplicada y Q la fuerza peso como vimos anteriormente, y n es el número de poleas móviles.





- **Aparejo factorial:** En la figura de abajo se observa que el desplazamiento virtual de la fuerza P produce en el punto Q un desplazamiento n (numero de poleas) veces menor. Para el equilibrio del dispositivo se tendrá:

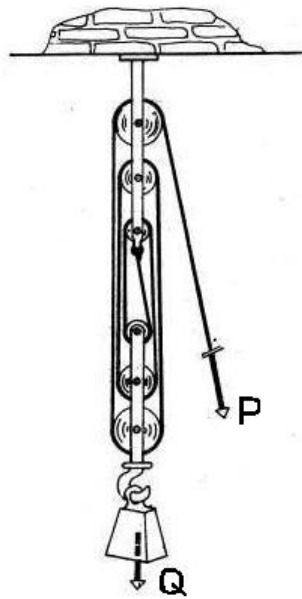
$$P = Q/n$$

Si hacemos $n = 2N$, siendo N el número de poleas móviles (fijas entre sí) tendremos:

$$P = Q/2N$$

Forma más común de la condición de equilibrio del aparejo factorial.





- Rueda:

La **rueda** forma parte del conjunto de elementos de máquinas, de hecho es considerada en sí misma como una máquina elemental. Tiene forma circular, y de poco grueso, proporcionalmente con el diámetro, cuya función básica es la de girar sobre un eje. Se cuenta como uno de los inventos clave de la historia de la humanidad. Su utilidad esencial era transportar objetos de un lugar a otro sin que hubiese tanto rozamiento con el suelo, de esta forma, el trabajo realizado era mucho menor al serlo también el rozamiento de las ruedas del carro. Su uso se extendió en infinitud de maquinas (poleas, manivelas...).

Más adelante, cabe destacar la invención de engranajes, derivados de las ruedas, que no es más que un conjunto de dos ruedas dentadas cuyos dientes encajan entre sí, de manera que al girar una de ellas arrastra a la otra

Las ventajas de la transmisión de movimiento y fuerza mediante engranajes son:

- una mayor solidez de los mecanismos.
- reducción del espacio ocupado.
- relación de transmisión más estable.
- no hay posibilidad de deslizamiento de una rueda sobre otra.



- posibilidad de cambiar de velocidad automáticamente.
- mayor capacidad de transmitir potencia.



4.2.2.- Cronología

Hagamos un recorrido a través del tiempo, primero para conocer sus raíces y después para observar las diferentes utilidades y usos que han tenido estos mecanismos a lo largo de la historia del ser humano. Conociendo las raíces, ese primer problema que afronta el ser humano, se comprende mejor la función de cada mecanismo.

Palanca:

- En la prehistoria ya se empleaba de forma inconsciente para amplificar el golpe (hachas y martillos) y el transporte de materiales sobre palos que se sujetaban con las manos en un extremo y arrastraban por el suelo en el otro (narria).
- En el 3200 a. de C. ya se empleaba en forma de lanza en los carros (palanca de 2º grado)
- Hacia el 2800 a. de C. se empleaba en Egipto remos fijos apoyados en chumaceras o aros para el desplazamiento por el Nilo (Palanca de 2º grado)



- Hacia el 2650 a. de C. ya se empleaba de forma habitual en Egipto y Mesopotamia la balanza de brazos móviles en cruz para la medición de masas (palanca de 1er grado).
- Sobre el 2600 a. de C. se empleaban palancas de grandes proporciones para el movimiento de grandes bloques de piedra empleados en la construcción de las primeras pirámides (palanca de 2º grado).
- Por el 2500 a. de C. los artesanos de Mesopotamia ya empleaban las pinzas en trabajos delicados (palanca de 3er grado).
- En el 2000 a. de C. ya se empleaba para el funcionamiento de las cerraduras en forma de llave.
- Por el 1550 a. de C. empezó a emplearse en Egipto y Mesopotamia en forma de cigoñal (Shadoof) para la extracción del agua de los ríos, extendiéndose rápidamente por todas las culturas fluviales. Eran grandes palancas de primer grado que posteriormente evolucionarían hacia las grandes grúas egipcias.
- Hacia el 1000 a. de C. ya se fabricaban tijeras de hierro para trasquilar ovejas en forma de palancas de tercer grado.
- En el 250 a. de C. Arquímedes descubre el principio de la palanca, con lo que este es el momento en el que empieza el uso tecnológico y consciente de esta máquina.
- Siglo III d. de C., Carretilla (China)
- Timón (Arabia. 1180)

Plano inclinado:

- El hombre de Cromañón ya la empleaba bajo la forma de hacha, cuchillo y puntas de lanza (cuña.).
- Aunque el plano inclinado es un operador presente en la naturaleza (en forma de rampa o cuesta) y que ya había sido fabricado en forma de cuña (puntas de flecha y lanza, hachas...) por parte de las culturas prehistóricas, se supone que no empezaron a construirse rampas conscientemente hasta el nacimiento de las culturas megalíticas (4000 a.C.) y la consiguiente necesidad de desplazar y emplear grandes bloques de piedra.



- En el 3000 a.C., con la aparición de los carros empezaron a construirse caminos que tenían que salvar grandes accidentes geográficos. La cuña ya se empleaba en las canteras egipcias para la separación de grandes bloques de piedra y para extraer tablas de los árboles. También por esta época se empieza a emplear en forma de sierra para madera.
- Hacia el 2900 a.C., se empieza a emplear en sumeria bajo la forma de arado de madera. (cuña.)
- Hacia el 2800 a.C., en Mesopotamia, empieza a emplearse en forma de escalera de obra (adaptación de la rampa a la fisonomía del ser humano) en las viviendas y construcciones sociales.
- Después los romanos generalizaron su uso para el trazado de calzadas y la conducción de agua a las ciudades (acueductos).
- Hacia el 1000 a.C., se aplica a las tijeras para trasquilar ovejas. (cuña.)
- En el siglo III a. C. por Arquímedes fue inventado el tornillo de Arquímedes, del que recibe su nombre, aunque existen hipótesis de que ya era utilizado en Egipto. Se basa en un tornillo que se hace girar dentro de un cilindro hueco, situado sobre un plano inclinado, y que permite elevar el agua situada por debajo del eje de giro.
- Durante el Renacimiento las roscas comienzan a emplearse como elementos de fijación en relojes, máquinas de guerra y en otras construcciones mecánicas. Leonardo da Vinci desarrolla por entonces métodos para el tallado de roscas; sin embargo, éstas seguirán fabricándose a mano y sin ninguna clase de normalización hasta bien entrada la Revolución industrial.

Polea:

- En el año 605 a. De C., aparece la polea (Mesopotamia). Pero La única nota histórica sobre su uso se debe a Plutarco, quien en su obra Vidas paralelas (en el 100 a. C.) relata que Arquímedes, en carta al rey Hierón de Siracusa, a quien lo unía gran amistad, afirmó que con una fuerza dada podía mover cualquier peso. Hierón, asombrado, solicitó a Arquímedes que realizara una demostración. Acordaron que el objeto a mover fuera un barco de la armada del rey, ya que Hierón creía que éste no podría sacarse de la dársena y llevarse a dique seco sin el empleo de un gran esfuerzo y numerosos hombres. Según relata Plutarco, tras



cargar el barco con muchos pasajeros y con las bodegas repletas, Arquímedes se sentó a cierta distancia y halando la cuerda alzó sin gran esfuerzo el barco, sacándolo del agua tan derecho y estable como si aún permaneciera en el mar.

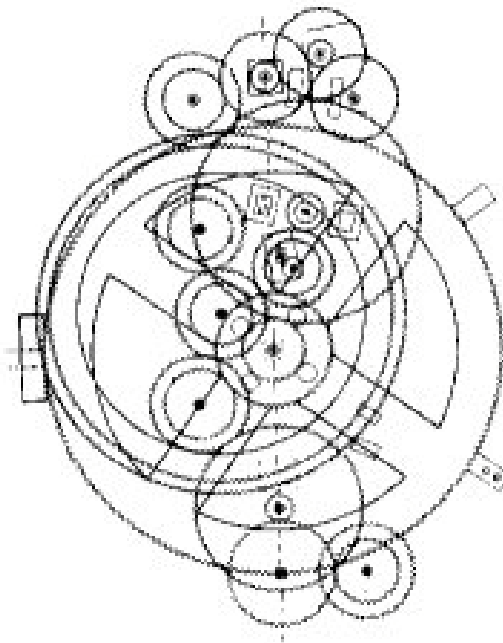
Rueda:

- Algunos historiadores afirman que fue inventada en la zona conocida como la Fértil Luna Creciente (Mesopotamia, Babilonia, sumeria, etc.), de donde se distribuyó por el Viejo Mundo de la mano de la abundancia de grandes animales de carga y tiro. Otros aseguran que fue en Mahenjo Daro, a orillas del río Indo. Entre las culturas americanas no prosperó, probablemente por la inexistencia de grandes bestias que facilitaran el uso de vehículos, y porque las civilizaciones más avanzadas no ocupaban terrenos llanos. Otra teoría afirma que la rueda nació en Eslovenia, donde en el 2003 se halló una rueda que tiene entre 5100 y 5350 años. Se pierde en el tiempo el conocimiento sobre su origen, pero su valor ha sido esencial en el desarrollo del progreso humano.
- Nadie sabe a ciencia cierta dónde ni cuándo se inventaron los engranajes. La literatura de la antigua China, Grecia, Turquía y Damasco mencionan engranajes pero no aportan muchos detalles de los mismos. El mecanismo de engranajes más antiguo de cuyos restos disponemos es el mecanismo de Anticitera. Se trata de una calculadora astronómica datada entre el 150 y el 100 a. C. y compuesta por al menos 30 engranajes de bronce con dientes triangulares. No está claro cómo se transmitió la tecnología de los engranajes en los siglos siguientes.





Imagen original del Mecanismo de Anticitera.



Estructura del mecanismo de Anticitera.

- En los inicios del Renacimiento esta tecnología de engranajes se utilizó en Europa para el desarrollo de sofisticados relojes, en la mayoría de los casos destinados a edificios públicos como catedrales. Leonardo da Vinci, muerto en Francia en 1519, dejó numerosos dibujos y esquemas de



algunos de los mecanismos utilizados hoy diariamente, incluido varios tipos de engranajes de tipo helicoidal.

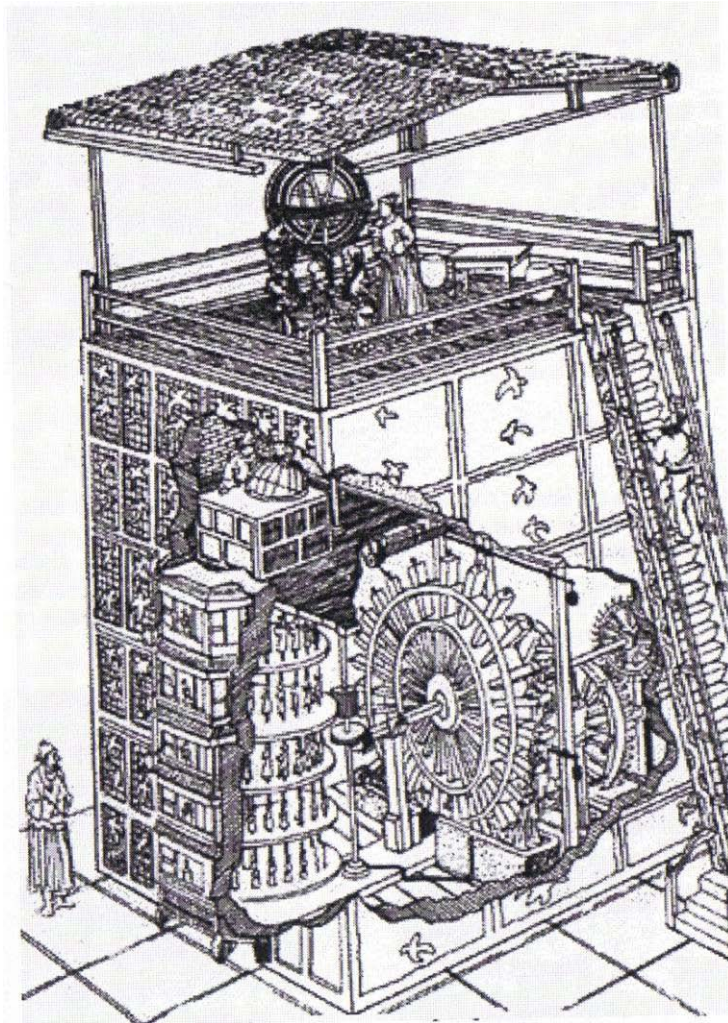
Como hemos visto en este pequeño viaje cronológico, las máquinas y herramientas se llevan utilizando prácticamente desde los primeros pasos del ser humano, pero no solo para reducir el esfuerzo y la fuerza en trabajos físicos; también ha tenido la necesidad de medir el tiempo y el movimiento de los astros con la mayor exactitud posible.

El desarrollo de la mecánica también le debe mucho a esta necesidad, donde los ingenieros de cada época lograron fabricar ingeniosas máquinas, que realizaban su trabajo con gran eficacia y exactitud.

Algunas de estas máquinas parecían estar adelantadas a su época. Un gran ejemplo de esto es el reloj astronómico de Su Song, considerado el mayor hallazgo en la mecánica de la época. El reloj tarda cuatro años en levantarse y es en el 1089 d.C. cuando queda totalmente construido. La torre tiene entre diez y doce metros de altura y, gracias a los mecanismos que alberga en su interior, obtiene la aparición de diversas figuras que señalan las horas así como de toques de tambor y gongs y el movimiento de una esfera celeste con la representación de estrellas y constelaciones.

La precisión del reloj, inferior a una desviación diaria de menos de cien segundos, se consigue gracias al mantenimiento del mismo nivel del depósito de agua que, por medio de un chorro, acciona la rueda vertical.





Reloj astronómico de su song (1089 d.C.).

El reloj consta de tres niveles. El nivel superior contiene la esfera armilar que representa “los grandes círculos de los cielos”. Dicha esfera armilar permite ver a los astrónomos la posición de las estrellas alrededor del sol o la tierra. Esta esfera comprende doce anillos en tres capas con cada uno de los anillos marcando una escala distinta. Gracias a esta disposición, se puede leer directamente las posiciones de los veinticuatro periodos solares y se puede encontrar una estrella o planeta mirando a través de un tubo. En el segundo nivel o nivel intermedio hay un globo celeste que muestra los movimientos de los cuerpos celestes y que da un giro completo al día. Y, por último, el nivel bajo posee todos los mecanismos de madera necesarios para su funcionamiento. Gracias a su precisión, los astrónomos chinos no solo pueden observar el cielo sino realizar mediciones correctas y acertadas sobre los distintos astros celestes.

El reloj astronómico sólo dura treinta y seis años antes de desmantelarse en la guerra del norte de China. Después se han realizado diversas réplicas por todo



el mundo de modelos a escala, intentando descubrir los misterios de sus mecanismos que, aún hoy, siguen sin ser del todo conocidos.

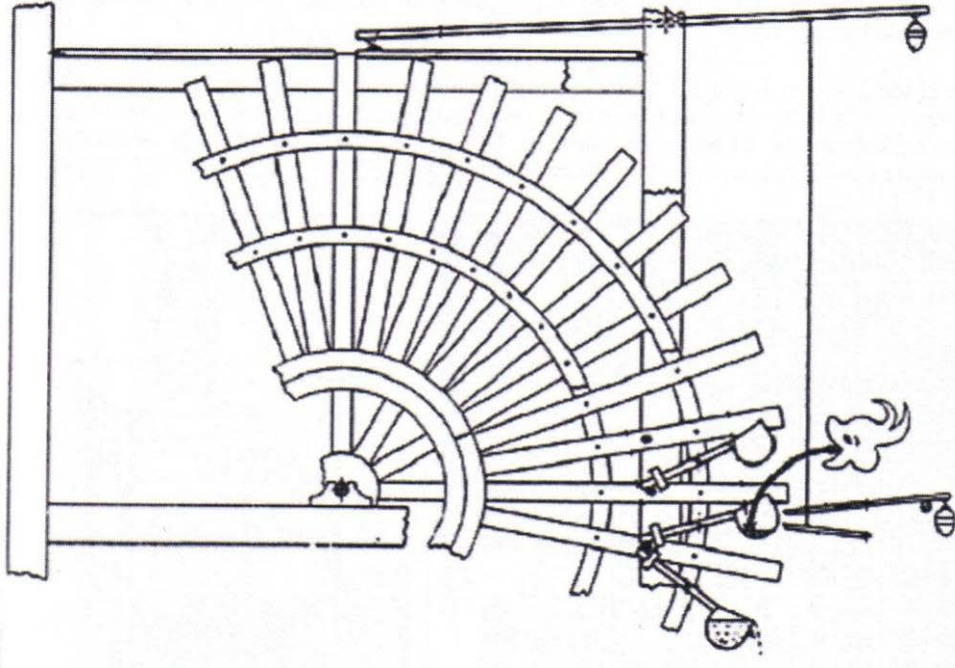


Modelo a escala del reloj astronómico de Su Song.

Todas las ruedas dentadas del mecanismo poseen un número de dientes concreto para realizar su función de forma precisa. Todo ha de estar calculado cuidadosamente para que la sucesión de engranajes permita mediciones correctas y válidas.

La parte más complicada del desarrollo mecánico corresponde a la rueda accionada con agua. La rueda tiene alrededor de tres metros y medio de diámetro y posee setenta y dos radios y treinta y seis cucharas, estando estas fijadas al perímetro de las ruedas. La cuchara se va rellenando del agua que le llega a una determinada velocidad haciendo que la rueda comience a girar por el peso. Una vez que la cuchara está llena, el contrapeso del giro es vencido y la rueda se mueve hasta que el sistema de control situado en la parte superior la hace detenerse (este sistema de detención es el que sirve de modelo para los relojes modernos; es lo que produce ese sonido tan característico de tic-tac) y vuelve a comenzar el movimiento de llenado.





Esquema del mecanismo.

Una vez realizado el movimiento en la rueda, éste se transmite al mecanismo de la transmisión constituido por una serie de ruedas dentadas.

La rueda del sistema motor mueve un eje con seis ruedas dentadas horizontales que están ocultas por la pagoda de cinco pisos teniendo esta en cada piso una o más puertas. En dichas circunferencias horizontales se colocan diversas figuras y mecanismos con sonidos tales como gongs o tambores. Cuando se llega a una hilera de puertas, las figuras pueden verse y se escuchan los sonidos de los instrumentos de música.

En el libro “Xin Yi Xiang Fa Yao”, Su Song describe el reloj, exponiendo que lo componen más de cuatrocientas partes, incluyendo ocho grupos de funcionamientos distintos que componen los diversos mecanismos. De los sesenta y tres dibujos dedicados al reloj, cuarenta y siete son explicaciones de los mecanismos.

Los chinos en el tema de la mecánica fueron muy adelantados a su tiempo, realizando máquinas verdaderamente ingeniosas, aunque las demás culturas también aportaron grandes inventos. El mundo grecorromano recoge buena parte de la tecnología desarrollada por las culturas anteriores, especialmente en Oriente Medio. Grecia alcanza un gran nivel en los campos técnicos. Un ejemplo emblemático es la escuela de Alejandría, en Egipto, donde desde el siglo III antes de Cristo hay una actividad intensa en docencia y en



investigación de dispositivos automáticos. De esta escuela podemos destacar el trabajo de Herón de Alejandría. Algunos historiadores lo consideran el primer ingeniero, por ser el primero en realizar sus figuras con dibujos detallados y precisos. Hasta ese momento, los dibujos son más generales e imprecisos, lo que ha facilitado su desaparición y olvido. En cambio, la definición de las figuras de Herón nos convence de que se trata de máquinas realmente existentes. Su mayor logro es la invención de la primera máquina de vapor, conocida como eolípila y la fuente de Herón. Si Herón hubiera sido verdaderamente consciente de su hallazgo, ¿Hubiera sido posible una revolución industrial casi 1500 años antes?; porque no es hasta 1606, con Jerónimo de Ayanz, o 1629 con Giovanni Branca, cuando este método vuelve siquiera a estudiarse.

Volviendo a la época del descubrimiento, respecto a la mecánica, se dejarán en un segundo plano los ingenios menos prácticos como son los relojes y los autómatas para centrar los trabajos en tres campos principalmente: la hidráulica, el de los mecanismos de elevación y el de la guerra. Se buscan soluciones novedosas para nuevas aplicaciones, aumentar la capacidad y precisión de las máquinas y adaptarla a situaciones específicas.

El Renacimiento de la Europa Occidental marca una etapa de reactivación y revitalización buscando dejar atrás el estancamiento de la Edad Media. A diferencia de lo que sucede en el Medievo, la apertura de la sociedad del Renacimiento favorece la difusión de las máquinas. El momento de más éxito en el desarrollo de las máquinas puede considerarse el siglo XV, con personalidades como Leonardo da Vinci (1452 - 1519) y Francesco di Giorgio (1439 - 1501).



5.- ELEMENTOS, MECANISMOS Y SISTEMAS MECÁNICOS USADOS EN LAS NAVES DESCUBRIDORAS



5.- ELEMENTOS, MECANISMOS Y SISTEMAS MECÁNICOS USADOS EN LAS NAVES DESCUBRIDORAS.

5.0.- Introducción

No es hasta principios del Renacimiento cuando *Galileo Galilei*, con su trabajo "*Le Mecaniche*" y sus primeros cursos en la Universidad de Padua sobre mecánica y maquinaria, hace de la ingeniería mecánica una corriente de pensamiento en auge e independiente de otras disciplinas. Ya no se hablaría de la mecánica simplemente como de una aplicación de las matemáticas.

El trabajo pionero "*Mechanicorum Liber*" de *Guidobaldo Del Monte* también puede ser considerado como fundamental para el reconocimiento de la importancia de la ingeniería mecánica. En él, el tratado de "*Le Mecaniche*", se revisa con una interpretación moderna, y se discute su importancia desde puntos de vista tanto histórico como técnico.

Así, en un ambiente donde los estudios mecánicos son escasos o nulos y la figura del ingeniero, como hemos visto, aun no aparecía, el diseño y construcción de los mecanismos de la época del descubrimiento obedecía más a métodos basados en la experiencia de artesanos, basados estos a su vez en la ley de la palanca como referente principal.

En conclusión, la ingeniería mecánica en el siglo XV y por tanto, su contribución al descubrimiento, no deja de ser una aplicación de la ley de la palanca, es decir, se hace realidad el famoso dicho de *Arquímedes* "dame un punto de apoyo y moveré el mundo".

5.1.- Eslabones. Son los elementos que no constituyen un mecanismo por sí mismos, sino que se unen para formarlos.

5.1.1.- Vergas

Se llama verga de un mástil, a las perchas perpendiculares de los mástiles en las embarcaciones a vela, precisamente a estas vergas o perchas se aseguran los grútiles de las velas, a fin de poder tensarla fácilmente y orientarla de acuerdo con el viento. Reciben el nombre del mástil en el que van, o de la vela que llevan. En los barcos de velas cuadradas, cada mástil lleva varias vergas o perchas de las que cuelgan las velas.





Verga en uno de los mástiles de la recreación de la Santa María, en el muelle de las Carabelas, en Palos de la Frontera.

En el siglo XV, la utilidad de las vergas en distintos ámbitos y trabajos cotidianos, eran múltiples, desde los brazos de una ballesta hasta, por ejemplo, una vara transversal apoyada en el cuello para transportar agua u otras cargas. Incluso los palos transversales de los cabrestantes pueden ser considerados vergas. Pero su utilidad y función básica la realiza como estructura y no como mecanismo, aguantando esfuerzos y tensiones.



Ballesta, siglo XV.



En las carabelas tenían forma cilíndrica, con la finalidad de servir de soporte para las velas, porque cuando se recogen las velas se hace sobre las vergas, lo cual permite un despliegue rápido. Las vergas y los mástiles conforman la arboladura de la embarcación.

Construcción de las vergas en las Carabelas.

Las vergas de los palos están formadas por dos piezas iguales y montadas una sobre otra con un cruzamiento largo, quedando simétrica la verga respecto a la cruz.

Se exceptúa la verga o entena del palo de mesana en la que sus dos piezas, pena y car, no son exactamente iguales.

En los extremos de las vergas se elaboraran los penoles para introducir en ellos las empuñaduras de los gráciles.

La zona de solape o cruzamiento de parte de la verga puede hacerse bien con un chaflán plano en cada una o bien dándole a la inferior una concavidad circular para encajar en ella la superior. En cualquier caso habrá una zona de transición en el chaflán o en el rebaje, para evitar cambios bruscos de sección, que podrían producir la rotura de la verga por concentración de esfuerzos en ese punto.

Las vergas se atracan a sus correspondientes palos a través de los racamentos que, en la mayor, estará formado por bastardos, liebres y vertellos, mientras en los otros palos pueden suprimirse las liebres.

La verga para la cebadera va guarnida al arritrango que desliza a lo largo del bauprés.

5.1.2.- Jarcias.

La verga está sujeta por sus dos extremos por jarcias. Las jarcias son los cabos y cuerdas del barco, que sujetan o estabilizan el resto de los componentes del aparejo, en otras palabras, el conjunto de cuerdas y cabos que se emplean para asegurar la arboladura.

Existen dos tipos de jarcias con finalidades distintas:

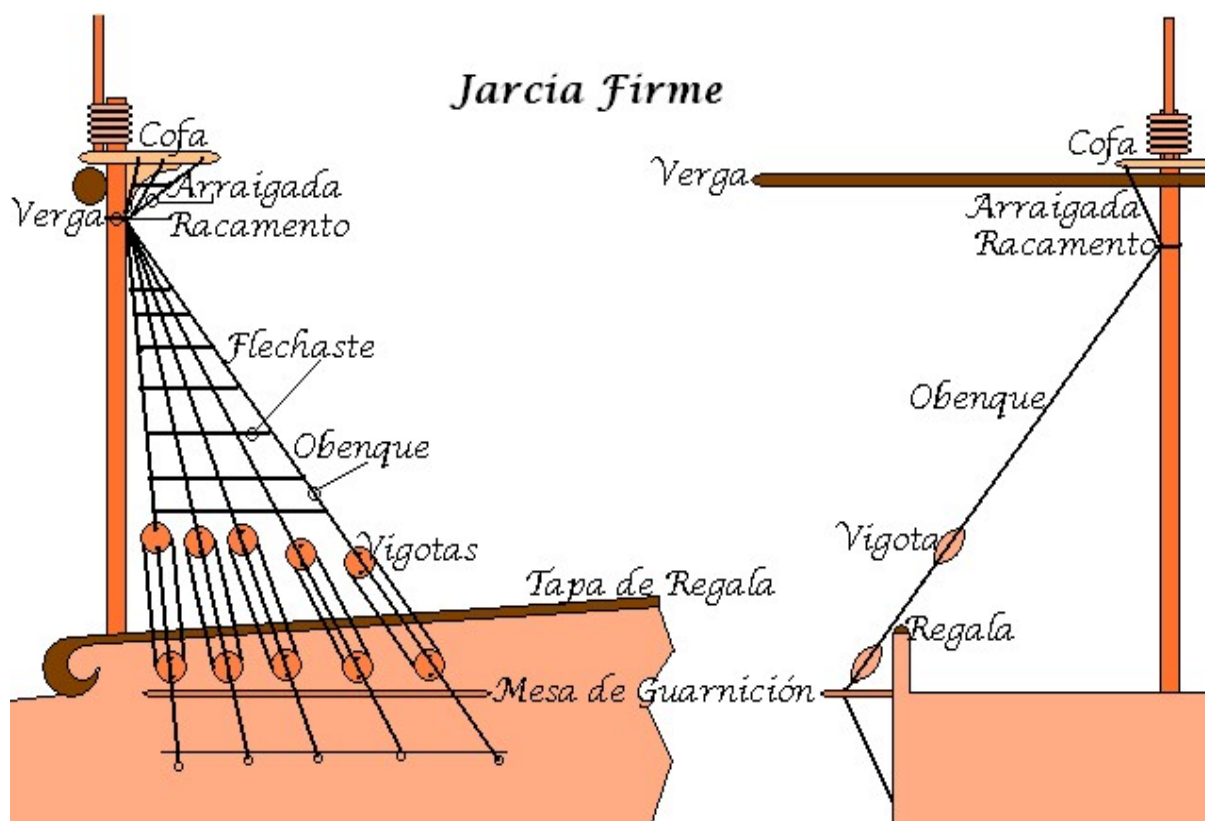
- Jarcia firme o muerta: permanece fija y tensada a ambos lados de los mástiles para sujetarlos y proporcionarles mayor estabilidad lateral. El conjunto de cabos que no se mueven, y sirven para tesar los palos o afirmarlos, unirlos, etc...

Cada uno de los palos principales se endereza de estribor a babor, mediante los Obenques que se tesan mediante las Vigotas y se insertan en el casco exterior después de atravesar las Mesas de Guarnición. Por la parte del cabo, los



Obenques se hacen firme en la Racamenta o Racamento debajo de la Cofa, continuándose hacia el borde de esta con la Arraigada.

Los Obenques se unen mediante unos cabos rígidos llamados Flechastes que forman con los anteriores una tela de araña y sirven para dar rigidez al conjunto y de escalera para subir a los palos los gavieros.



Alzado y perfil de un sistema de jarcias firmes

- Jarcia móvil o de labor: está compuesta por todo el conjunto de cabos del buque que sirven para mover o hacer trabajar los aparejos y las velas. Todos los cabos de maniobra.

Estos cabos se mueven y trabajan ayudados por motones, por lo que se desgastan con facilidad y hay que comprobarlos y sustituirlos con bastante frecuencia para evitar accidentes.





Ilustración de motones.

La función principal de estos cabos es, arriar e izar las vergas altas.

Para afirmarlos se utilizan unas piezas situadas al pié de los palos, que reciben el nombre de Propaos, que afirman los extremos de los cabos con unas piezas fuertes de madera dura llamadas Cabillas.

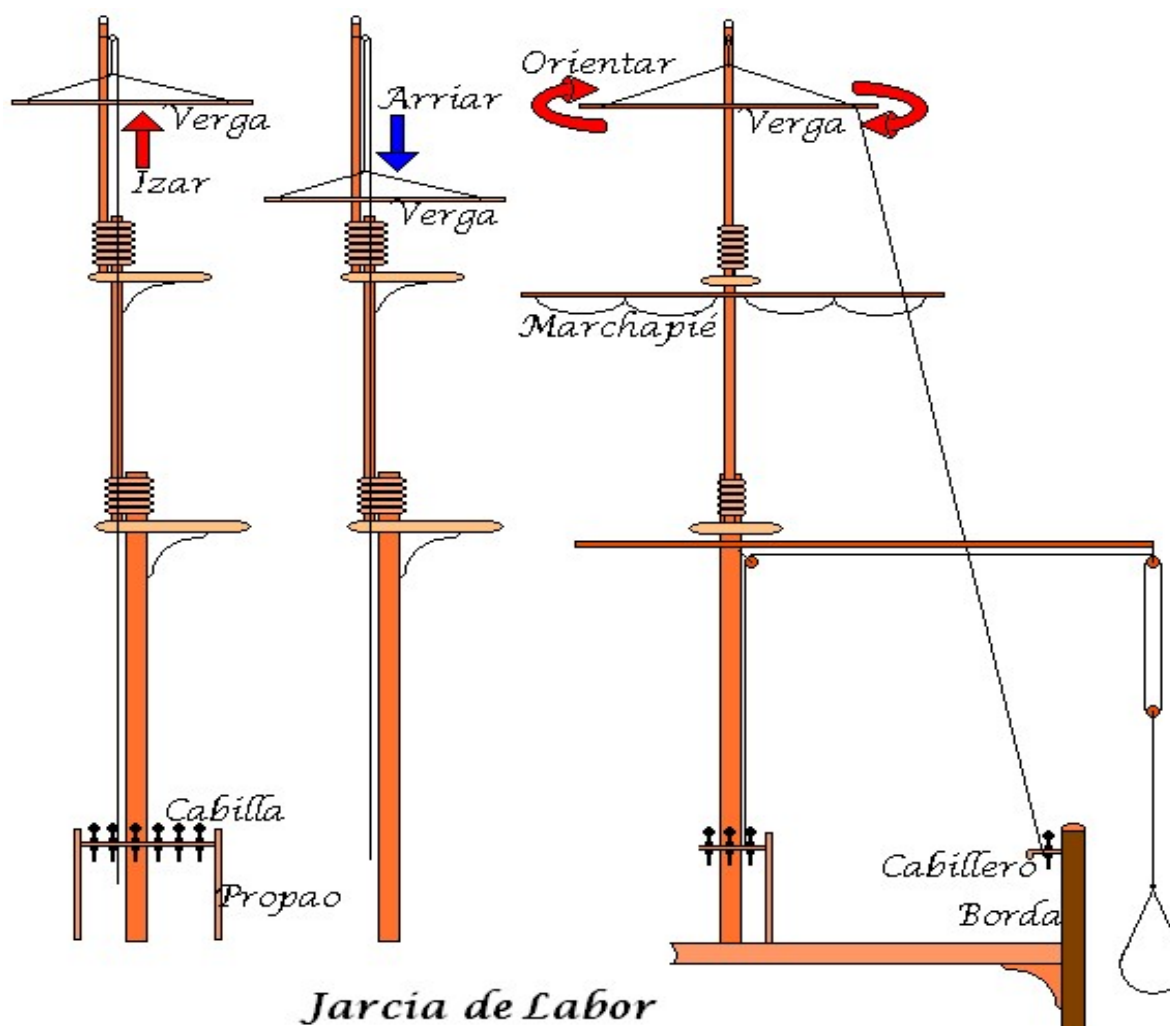


Cabilla de costado en la Pinta.

Las Cabillas se ajustan en unos orificios, que para ellas tienen los Propaos, donde las reciben ajustadamente haciéndolas sobresalir por los extremos, donde se afirman finalmente los cabos, formando un ocho (enrollándose sobre sí mismos). De esta forma se facilita mucho la tarea de afirmar un cabo, y mucho más la de aflojarlo, pues para ello solo basta con sacar su Cabilla.

Otros cabos sirven para orientar las velas redondas, haciendo girar sus Vergas alrededor del palo, consiguiendo así orientarlas al viento. Estos cabos se afirman en los Cabilleros de los costados, en vez de en los Propaos.





Esquema de las principales funciones de las jarcias de labor, donde se puede observar el izado y arriado de las velas, como la orientación de la verga y su función como puntal.

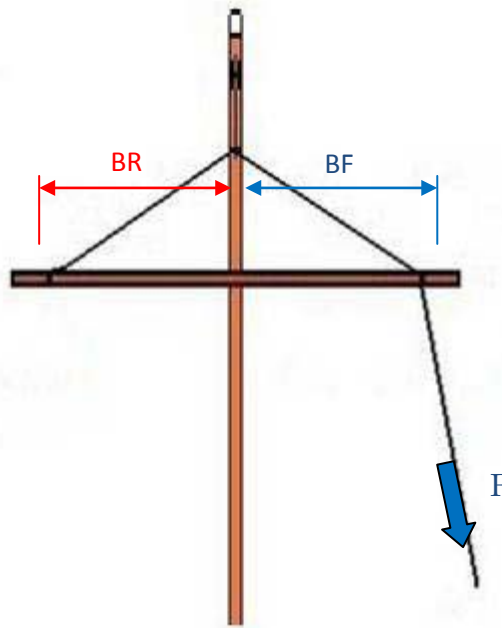
Cuando las vergas están tensas y sin movilidad, con jarcias muertas, estas se comportan como una estructura, cuyas funciones son:

- 1- Soportar el peso de la vela.
- 2- Transmitir la fuerza lateral, que ejerce la vela al entrar en contacto con el viento, a los obenques.
- 3- Las Vergas también se usan como Puntales, para lo que solo hay que adaptarles el correspondiente aparejo de ruedas y poleas que servirá para izar o arriar pequeñas cargas y provisiones a bordo.



Cuando la verga no está tensada, presenta movimiento, cuya finalidad es la de orientar las velas según el viento, para aprovechar su empuje. Bajo este punto de vista podemos analizar la verga como un mecanismo.

Este mecanismo funciona según la ley de la palanca, anteriormente desarrollada, con el propósito de invertir el sentido del movimiento. Se comporta como un mecanismo de palanca de primer grado con el fulcro centrado, lo que implica que los brazos de potencia y resistencia son iguales.



La Resistencia (R), sería el peso propio que tendría la verga con respecto al movimiento desde el fulcro.

Volvemos a la ecuación de la palanca, que dice:

$$F \times BF = R \times BR;$$

Si sabemos que, $BF = BR$, tenemos:

$$F = (R \times BR) / BR;$$

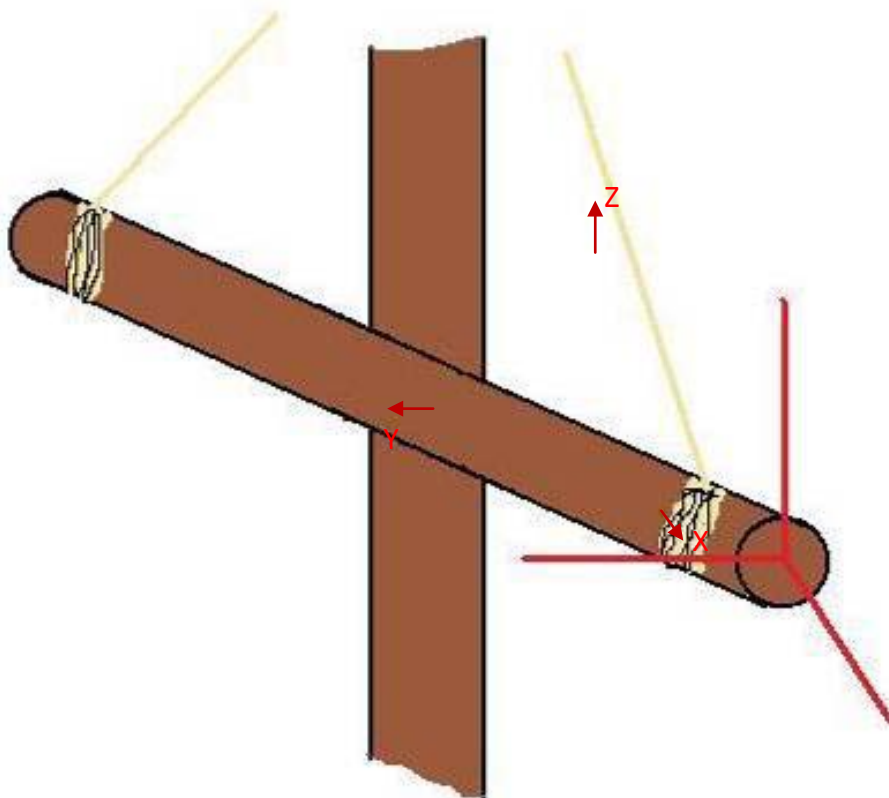


$$F = R$$

Este montaje hace que el esfuerzo y la carga sean iguales, como también lo serán los desplazamientos de la potencia y de la resistencia. Es una solución que solamente aporta comodidad, pero no ganancia mecánica.



Este mecanismo consta de dos eslabones. El eslabón 1, sería el mástil del barco donde estaría sujeta la verga mediante jarcias, y el eslabón 2, sería la verga, propiamente dicha. También es importante decir, que el mecanismo tiene un movimiento de tipo espacial, según la dirección de la fuerza que actúe sobre él, es decir, fuerzas de izado o fuerzas de orientación.



5.2.-Mecanismos

5.2.1.-Cabrestante

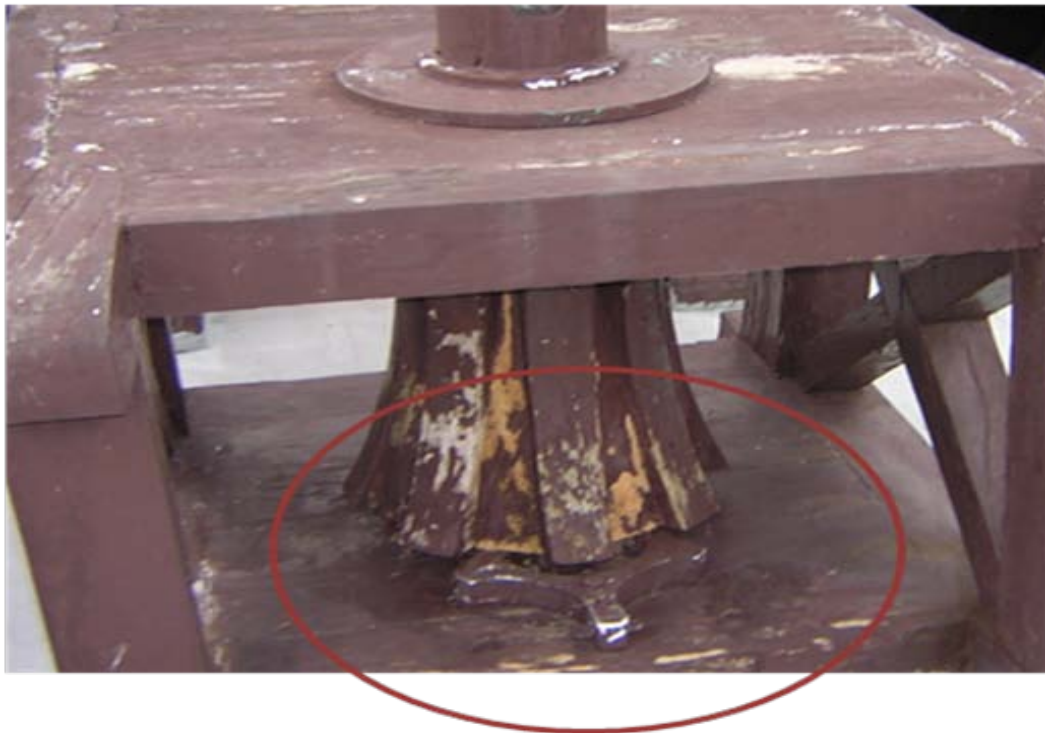
Un cabrestante (o cabestrante) es un dispositivo mecánico, impulsado manualmente, destinado a levantar y desplazar grandes cargas. Consiste en un rodillo giratorio, alrededor del cual se enrollaba una maroma, provocando el movimiento en la carga sujeta al otro lado del mismo. En los cabrestantes manuales, unas barras cruzadas en los extremos del cilindro giratorio permiten aplicar la fuerza necesaria. Este sistema suele complementarse con un trinquete para evitar que la manivela gire en sentido contrario llevada por la fuerza que hace la carga. Son parte integral, entre otras cosas, del equipamiento náutico.

Para la construcción de este mecanismo necesitamos, al menos: un soporte, un eje, un cilindro (tambor) y una manivela (el eje y el cilindro han de estar unidos, de forma que ambos se muevan solidarios). A todo esto hemos de añadir una cuerda, que se enrolla alrededor del cilindro manteniendo un extremo libre.



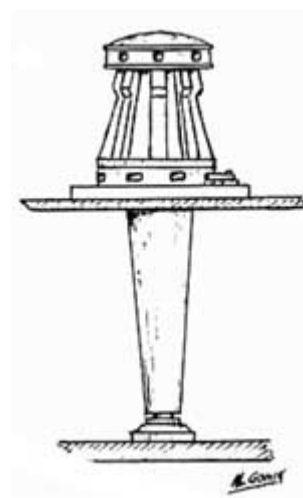
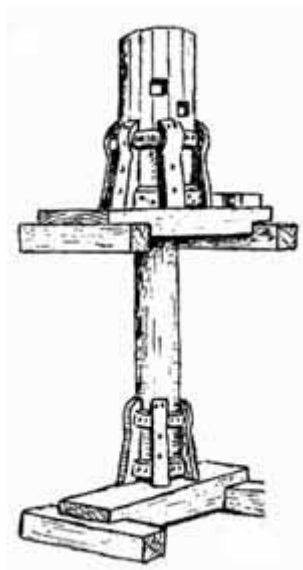
- 1 - Eje.
- 2 - Manivela.
- 3 - Trinquete.
- 4 - Soporte.
- 5 - Tambor.



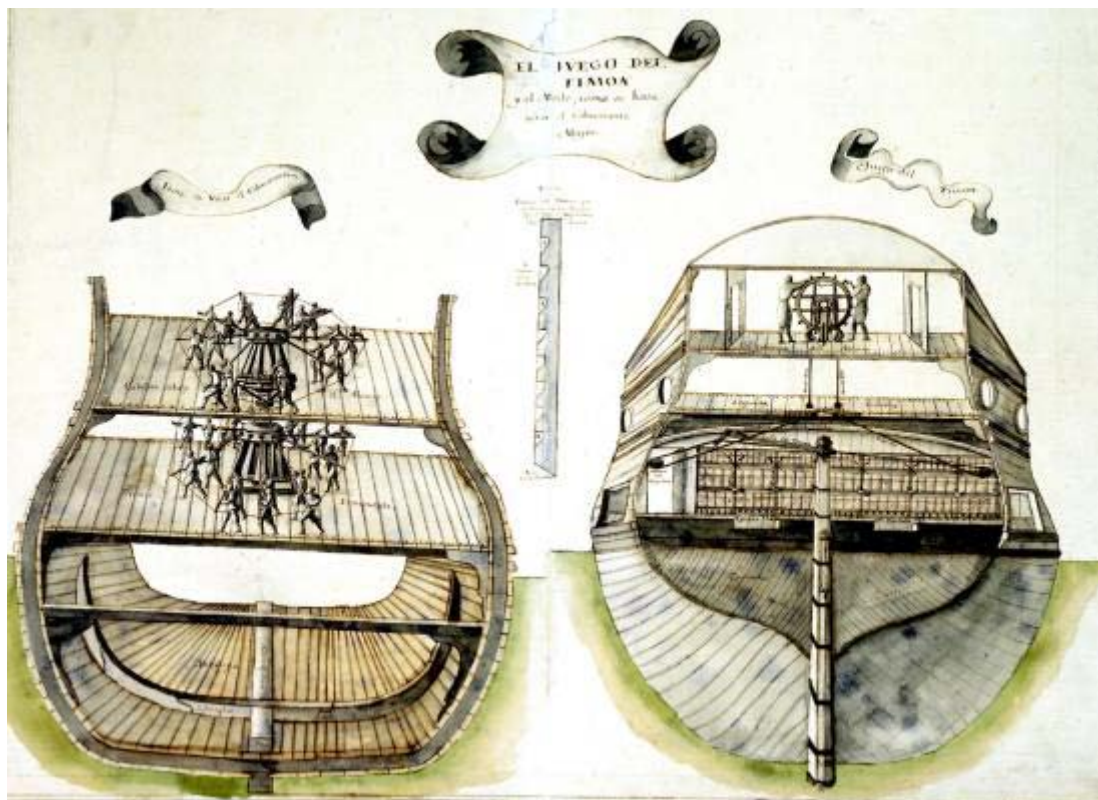


Trinquete en el cabrestante de la Niña.

A bordo de las naves descubridoras, el cabrestante prestaba múltiples servicios, siempre enfocado a la elevación de cargas, especialmente: llevar anclas, subir la verga mayor, meter cargas pesadas en la bodega y meter el batel a bordo. Estaba colocado generalmente en la cubierta principal y muy cerca del palo mayor. Este cabrestante lo movían cuatro hombres por medio de cuatro pértigas de madera colocadas horizontalmente.



Cabrestantes del siglo XVI.



Cabrestante y rueda de timón. Diccionario demostrativo del Marqués de la Victoria. Cádiz, 1719-1756. En los buques, los grandes pesos se trasladaban por cabestrante o tornos de eje vertical que multiplicaban la fuerza de un hombre. Durante la edad moderna el timón medieval, uno o dos remos suspendidos de los costados, dio paso a un timón único suspendido del codaste, mejorando considerablemente el gobierno de la navegación.

Construcción de los Cabestrantes en las Carabelas

Bajo la tolda se instalará un rudimentario cabestrante que ayudará a las maniobras más pesadas de las velas o las anclas.

El cuerpo del cabestrante tendrá forma troncocónica, en lugar de la más habitual de hiperboloide de revolución, y estará constituido por un cuerpo central, la madre, mecha o alma, de sección cuadrada. Su prolongación superior forma el sombrero donde se aplicarán las barzas y la inferior el eje sobre el que gira el cabestrante, y que termina alojándose en un gorrón en la sobrequilla.

Alrededor de la madre se aplicarán unos malletes de sección trapezoidal para formar el tronco de cono de que se habló.



Sobre estos se colocaran ocho guardainfantes para mejor agarre de los cabos de maniobra.

En la parte baja se sitúa una corona dentada toda ella de madera que con ayuda de cuatro linguetes fijos a la cubierta impedirán el retroceso accidental durante una maniobra.

Al paso del eje por la fogonadura se enzunchara con un cobrarin de bronce en forma igual a como se indica para la propia fogonadura en el apartado correspondiente. Otro tanto se hará con su extremo inferior y con el gorrón donde se aloja.

La potencia del aparato se aplicará sobre dos barras o espegues en el sombrero, siendo las bocabarras simples orificios que lo atraviesan en sus caras.

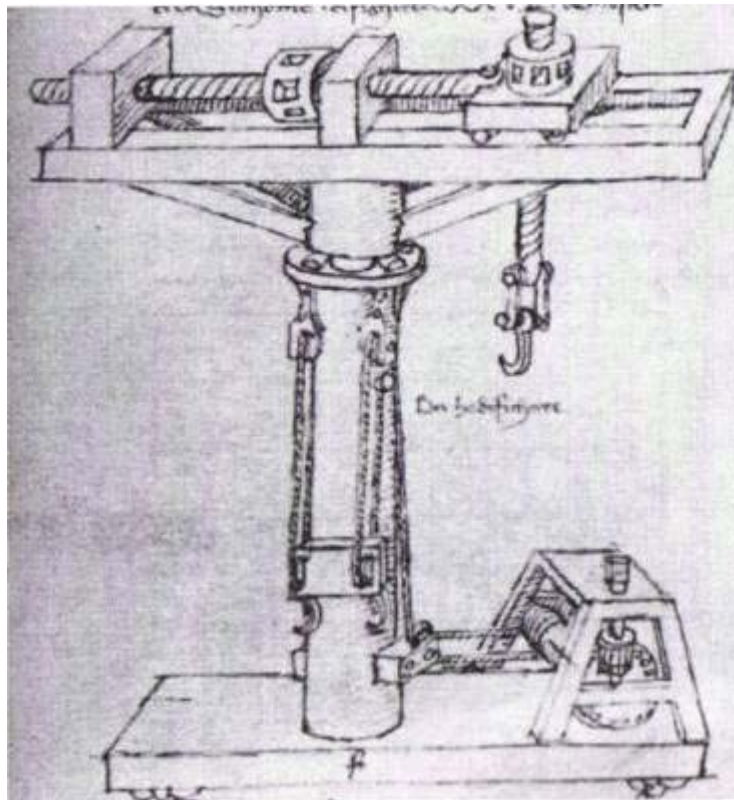
La madre del cabestrante y los guardainfantes se construirán en madera de roble, mientras que los malletes serán de pino.

La corona dentada y los trinquetes de retenida serán también de madera de roble.

Las barras se elaborarán en madera de fresno que no contenga el corazón del árbol, labrada según la dirección de las fibras, sin sámago, libre de nudos o signos de heladura hendada. Las piezas serán rectas o con ligera curvatura que pueda desaparecer a costa de alguna pérdida de madera.

En la época de los descubrimientos, siglo XV, la utilización de cabrestantes también está extendida a una gran variedad de sectores, no solo a la náutica. Entre los más utilizados se encuentran la minería y la construcción. En minería los cabrestantes se emplean para la extracción de materiales y personal en jaulas. En el caso de las jaulas, los cabrestantes se disponen en el castillete del pozo vertical, y permiten el izado de una jaula minera en vertical. En la construcción encontramos un claro ejemplo de la utilización de cabrestante en máquinas elevadoras como el puente grúa de Francesco Di Giorgio. Estas máquinas eran diseñadas con gran claridad de ideas, simplicidad y genialidad al mismo tiempo.





Puente grúa de Di Giorgio, recogido en el "Trattato di architectura e machine".

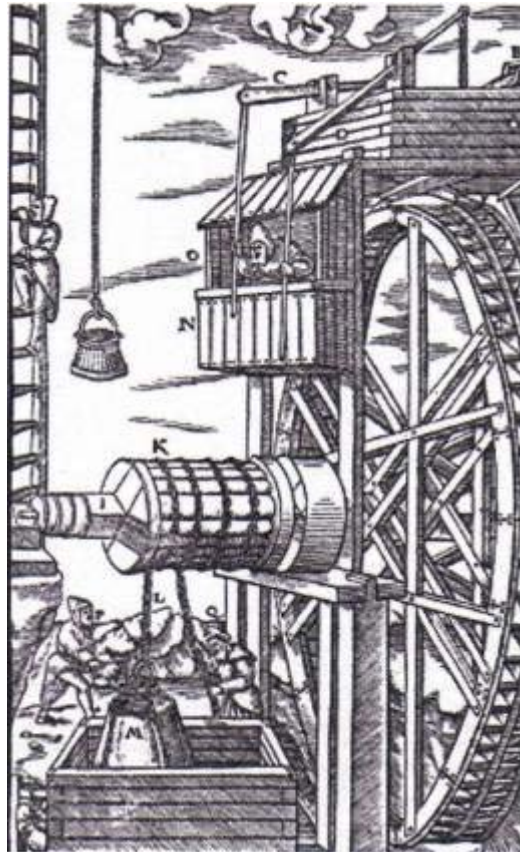
El mecanismo se divide en dos partes. La parte inferior es un cabrestante accionado por un conjunto de engranajes y poleas situados en la parte inferior derecha y que termina en dos poleas que sujetan sendos ganchos. Mientras, la parte superior dispone de dos tornillos que permiten respectivamente el movimiento de rotación y vertical de la carga suspendida de un gancho. También se puede observar que la parte superior de la grúa puede girar en torno a su eje vertical.

Otro ejemplo fue el mecanismo elevador de Georgius Agricola¹, que combina la fuerza hidráulica y los mecanismos elevadores, tal y como se puede ver en la figura que se muestra a continuación. La inmensa grúa puede ser una muestra de la fuerza que es necesaria para elevar la tierra de lo profundo de las minas. En el dibujo se puede observar que el cabrestante señalado con la letra K es

1. Georgius Agricola, latinización de Georg Pauer (Clauchau, 24 de marzo de 1494-Chemnitz, 21 de noviembre de 1555) fue un alquimista, químico y mineralogista alemán, considerado el fundador de la mineralogía moderna. Desarrolló los principios de la metalurgia y de la minería, con escritos sobre temas médicos, químicos, matemáticos e históricos.



movido por la gran rueda situada a la derecha que, a su vez, es accionada por la fuerza hidráulica del río. Se puede ver también que el hombre situado en la caseta(N) mueve dos palos que terminan en dos frenos que sirven para disminuir la velocidad de la rueda cuando el cabrestante ha hecho ascender del todo la carga y es necesario vaciar el cubo.



Mecanismo elevador de Georgius Agricola, de la obra "De re Metallica".

Volviendo al mecanismo de cabrestante; éste, con la ayuda de una biela, transforma en lineal alternativo el movimiento giratorio de un eje (la conversión también puede hacerse a la inversa). Y como hemos comentado antes, este sirve sobretodo, para elevar una carga con comodidad, esto es, aplicando un esfuerzo muy inferior a ella. Por contra, la manivela debe recorrer en su giro una distancia muy superior a la recorrida por la carga, lo que se traduce en que la manivela se mueve muchísimo más rápido que la carga. En definitiva, desde el punto de vista físico y obviando el rozamiento del eje, este hecho no es ni más ni menos que la expresión de la ley física que expresa que el trabajo suministrado (Fuerza aplicada x desplazamiento de su punto de aplicación) es igual al trabajo útil producido (F suministrada x desplazamiento de la carga).

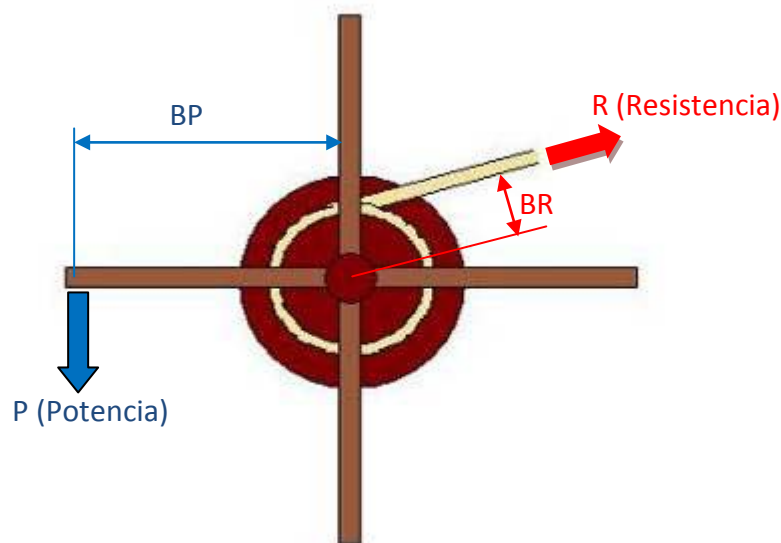


Con esto podemos concluir que el mecanismo de cabrestante se comporta exactamente igual que una palanca, donde:

- el brazo de potencia (**BP**) es el brazo de la manivela (radio de la manivela).
- el brazo de resistencia (**BR**) es el radio del cilindro en el que está enrollada la cuerda.

Para que el sistema tenga ganancia mecánica ($P < R$) es necesario que el brazo de potencia (brazo de la palanca) sea mayor que el brazo de la resistencia (radio del cilindro).

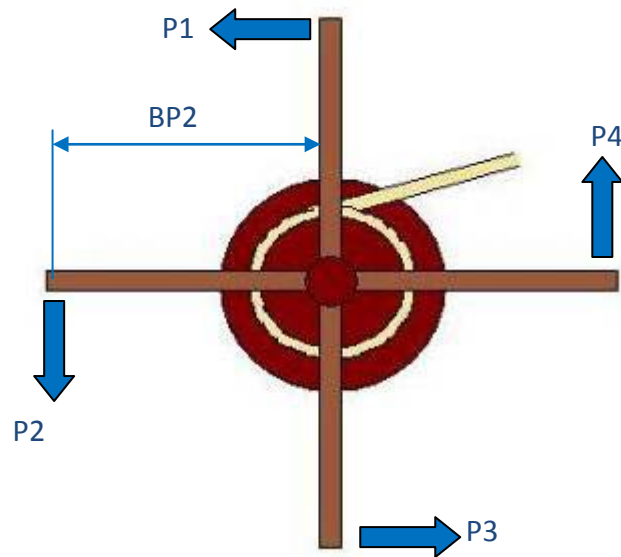
Si la manivela tuviera el mismo radio que el tambor, tendríamos que hacer la misma fuerza que si tiráramos directamente de la cuerda ($P = R$).



$$BP \times P = BR \times R;$$

Pero en esta ecuación solo está representada la potencia sobre un palo. Si el cabrestante es accionado por cuatro fuerzas iguales y con el mismo sentido, una en cada palo, quedaría:





Siendo:

$$BP1 = BP2 = BP3 = BP4 = BP;$$

Volviendo a la ecuación anterior de la palanca, obtenemos para el cabrestante:

$$BP1 \times P1 + BP2 \times P2 + BP3 \times P3 + BP4 \times P4 = BR \times R;$$



$$BP (P1+P2+P3+P4) = BR \times R;$$

Donde:

$$P1 + P2 + P3 + P4 = P_{total};$$

Por tanto, obtenemos:

$$BP \times P_{total} = BR \times R;$$



$$P_{total} = (BR \times R)/BP;$$

Para que el sistema tenga ganancia mecánica ($P < R$) es necesario que el brazo de potencia (brazo de la palanca) sea mayor que el brazo de la resistencia (radio del cilindro).

Si la manivela tuviera el mismo radio que el tambor, tendríamos que hacer la misma fuerza que si tiráramos directamente de la cuerda ($P=R$).



$$BR > BP \rightarrow P > R$$

$$BR = BP \rightarrow P = R$$

$$BR < BP \rightarrow P < R$$

Por ejemplo, si estamos a bordo de la Santa María y tenemos que llevar el ancla que se encuentra fondeada, tenemos:

R = peso del ancla + peso de los metros de cabo;

Si el ancla pesa 500kg y se encuentra a una profundidad de 20m, pesando cada metro de cabo 0,5Kg, obtenemos que, $R = 500 + (0,5 \times 20) = 510\text{Kg} = 4998 \text{ N}$.

$$BR = 0,2 \text{ m}$$

$BP = 0,5 \text{ m}$. (Esta medida puede variar según la longitud de la manivela que se coloque, sabiendo que cuando mayor sea su longitud, menor será la fuerza a ejercer para vencer la resistencia. Pero también hay que tener en cuenta que cuando mayor sea su longitud, siendo manivelas construidas en madera, tendrán más tendencia a doblarse o incluso llegar a romperse.)

Teniendo todos estos datos:

$$P_{\text{total}} = (BR \times R) / BP;$$



$$P_{\text{total}} = (0,2\text{m} \times 4998\text{N}) / 0,5\text{m}; \quad P_{\text{total}} = 1999,2 \text{ N};$$

En este punto, es donde podemos observar la principal función y ventaja de este mecanismo. Esta potencia total, necesaria para vencer la resistencia y elevar el ancla, al ser ejercida a la vez por cuatro hombres, queda repartida entre estos. Por lo tanto un cada hombre tendría que ejercer como mínimo una fuerza:

$$P = 1999,2\text{N} / 4 = 499,8\text{N}$$

Fuerza muy inferior a la total y que alivia y facilita bastante el trabajo.

Para finalizar, podemos realizar la síntesis de este mecanismo observando que está compuesto por dos eslabones. El eslabón 1 sería la cubierta de la nave y el eslabón 2 sería la combinación del eje de giro con la manivela que giraría solidariamente respecto el eslabón 1.



Es un mecanismo de 1 grado de libertad, debido a que tiene 2 eslabones y un par cinemático rotativo por lo tanto:

$$\text{GDL} = 3(2 - 1) - 2 \times 1 - 0 = 1$$

5.2.2.- Trinquete.

La finalidad de este mecanismo es permitir el giro de un eje en un sentido, e impedirlo en sentido contrario. Se utiliza cuando es necesario asegurar un sentido único de giro, como sucede en las cabrias, gatos o aparatos de elevación, impidiendo que la carga se convierta en elementos motriz cuando la fuerza de elevación cese.

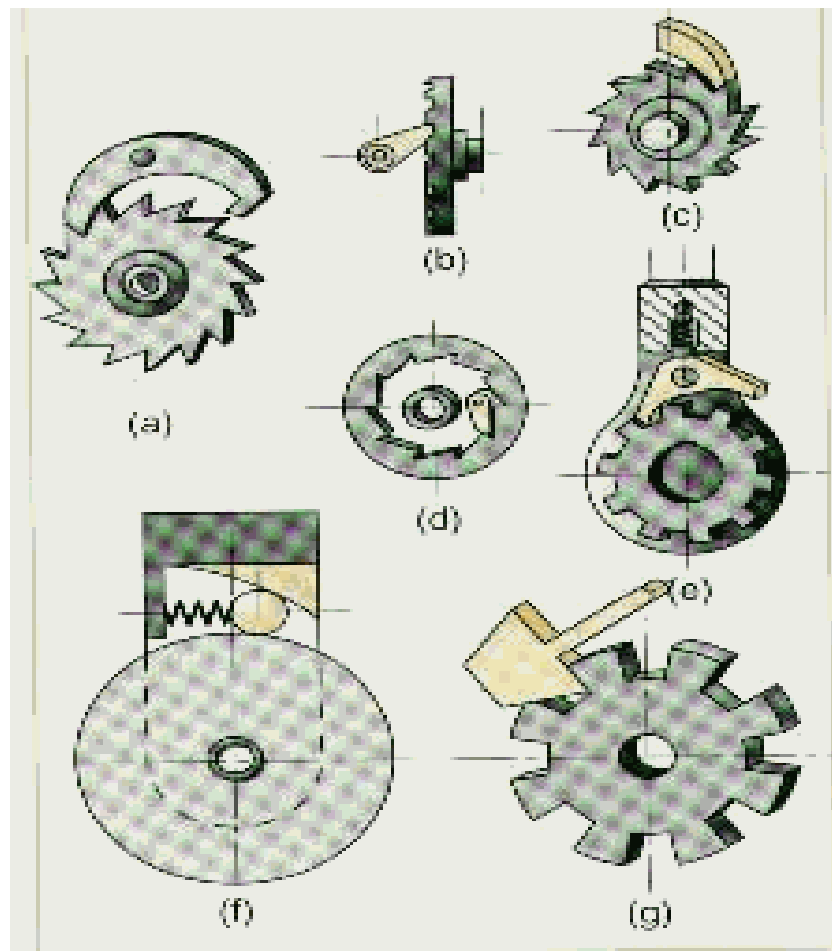


Ilustración de varios tipos de trinquetes. La figura (g) es similar al tipo utilizado a bordo de la Santa María, como veremos adelante.



En las carabelas el mecanismo de trinquete se montaba en la base de los cabrestantes, cuya finalidad era la de impedir el giro en sentido contrario al deseado y evitar accidentes a la hora de elevar cargas.

Este mecanismo a diferencia de los anteriores, está construido en acero, lo que le da mucha más resistencia, para soportar grandes esfuerzos. Estos podrían estar fabricados de fundición o hierro forjado.

El despegue espectacular de la Siderurgia Española se produce en la Edad Media sobre todo en dos regiones: Cataluña y País Vasco, allí donde el agua motriz, el mineral y el combustible hicieron posible la instalación de las *Fargas* Catalanas y las *Ferrerías* Vascas, que llegaron a convertirse en centros metalúrgicos de fama mundial. La propia técnica conocida como Forja Catalana se extendió por todo el mundo.

Para tener una idea de la importancia de esta industria, basta saber que en el siglo XV existían en Vizcaya y Guipúzcoa más de 300 ferrerías y en Cataluña más de 150 fargas.



Ilustración de lo que sería una forja catalana. 1568

La utilización de estos tipos de trinquete, quedaba limitada a velocidades medias y bajas, debido a que a velocidades elevadas es preciso disponer un resorte de recuperación de fuerza considerable, y estos no lo tenían.

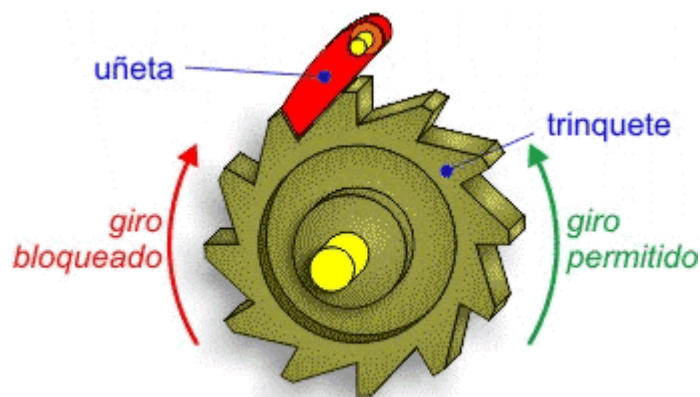




Mecanismo de trinquete, presente en el cabrestante de la Niña.

Este es un mecanismo que deriva de la rueda dentada, pero no tiene sus mismas funciones.

Básicamente está formado por una rueda dentada y una uñeta que puede estar accionada por su propio peso o por un mecanismo de resorte. En el caso de las carabelas, no existe resorte.



La rueda dentada posee unos dientes inclinados especialmente diseñados (denominados dientes de trinquete) para desplazar a la uñeta durante el giro permitido y engranarse con ella cuando intenta girar en el sentido no permitido.

La uñeta hace de freno, impidiendo el giro de la rueda dentada en el sentido no permitido.

Además del sistema anterior, existen diferentes tipos de trinquetes:



- De retención, cuando solamente se limita a permitir o no el movimiento del eje o árbol en un sentido.
- De accionamiento, cuando otro mecanismo (generalmente una biela o un émbolo) dotado de un movimiento de vaivén empuja a la rueda dentada en el sentido de giro permitido, mientras la uñeta lo impide en el contrario.
- Irreversible, cuando permite o retiene el movimiento siempre en el mismo sentido de giro. Este es el tipo más empleado.
- Reversible, cuando puede permitir o retener el movimiento en ambos sentidos, gracias a un sistema de uñetas reversibles (y a un diseño de los dientes adecuado).

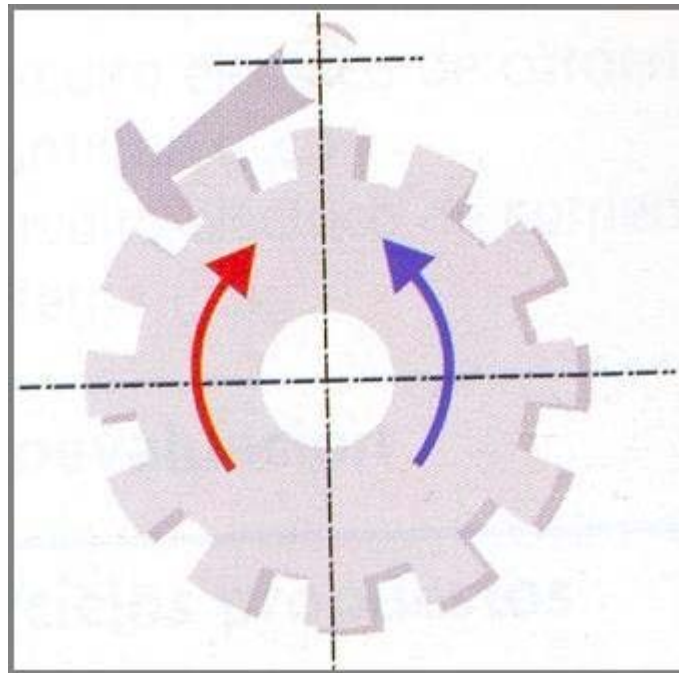
Este último tipo es el que encontramos montado sobre la base del cabrestante de la Santa María.



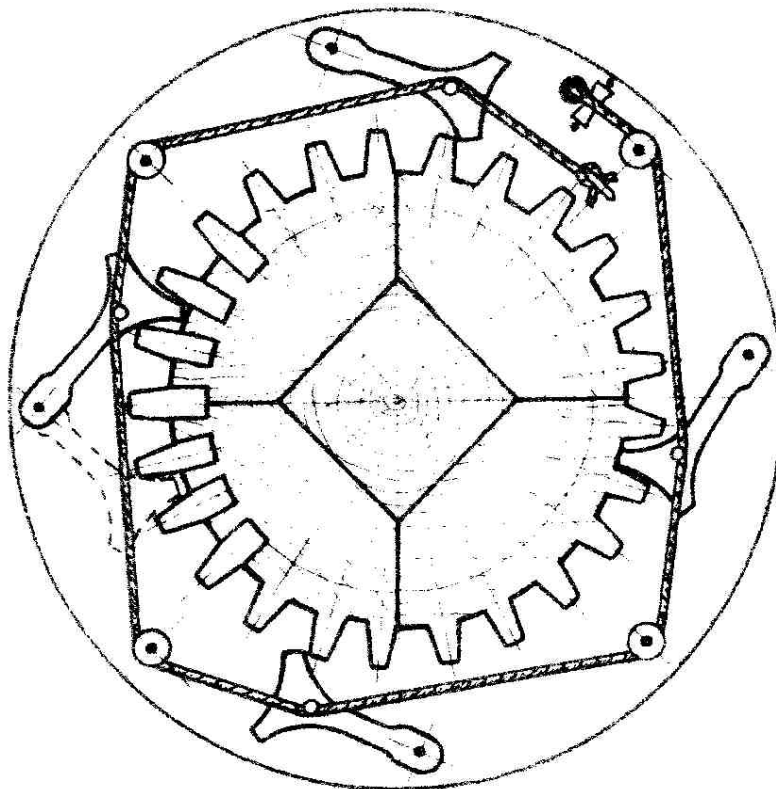
Trinquete del cabrestante, en la Santa María.

En este tipo de trinquete la uñeta, es reversible y puede girar y colocarse para permitir el giro tanto en sentido horario como antihorario.





Esquema del mecanismo reversible donde se observa fácilmente la uñeta reversible y como puede cambiar el sentido de giro.

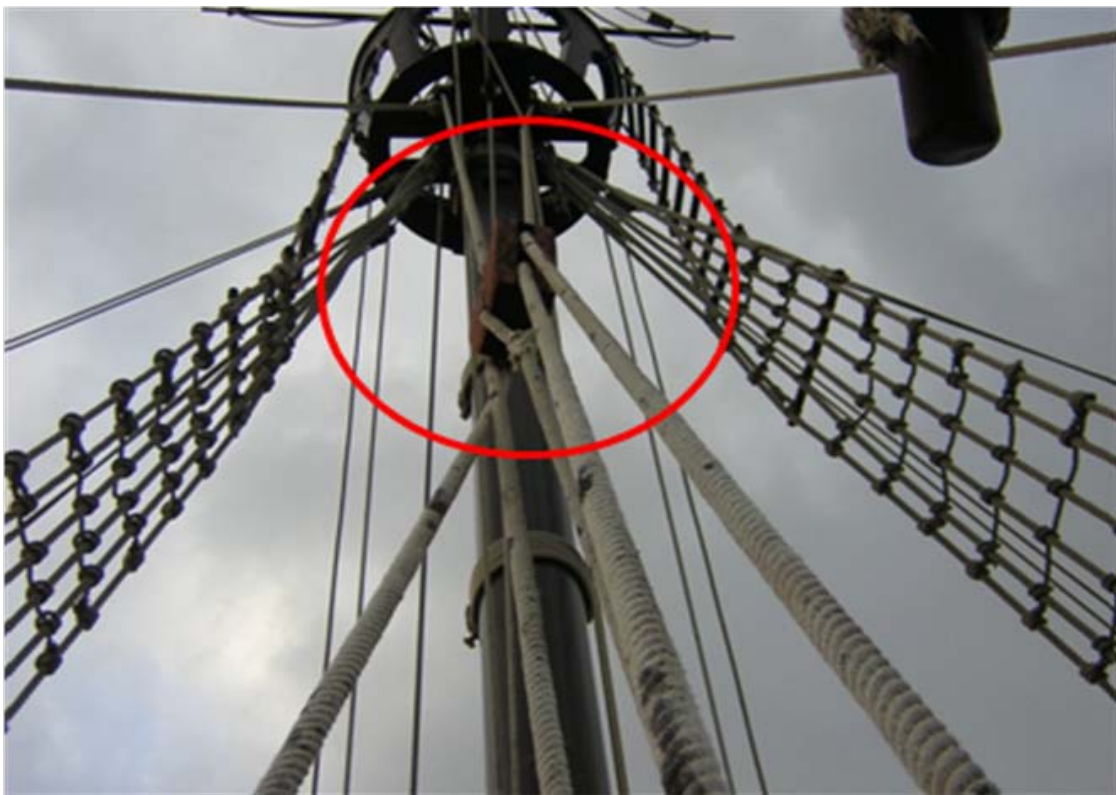


Esquema del mecanismo de trinquete de la Nao donde se puede observar su mecanismo de retención.



5.2.3.- Poleas.

Como hemos visto anteriormente en el apartado 4.2, una polea, también llamada garrucha, carrucha, trocla, trócola o carrillo, es una máquina simple que sirve para transmitir una fuerza. Se trata de una rueda, generalmente maciza y acanalada en su borde, que, con el concurso de una cuerda o cable que se hace pasar por el canal ("garganta"), se usa como elemento de transmisión para cambiar la dirección del movimiento en máquinas y mecanismos. Además, formando conjuntos —aparejos o polipastos— sirve para reducir la magnitud de la fuerza necesaria para mover un peso, variando su velocidad.



Polea en el velamen de la Santa María.

Las poleas se combinaban entre sí, en forma de polipastos o sistemas de poleas. Su función era la de manejar los aparejos de la nave (velas, jarcias...), cambiando la dirección del movimiento y levantando cargas con menos esfuerzo.

Una de sus funciones era la de plegar y desplegar las velas, que hablando de un velero cuyo movimiento se debe al viento y las velas, era una de las funciones fundamentales y principales para la navegación. Este mecanismo se simplifica en un sistema de poleas, donde en un extremo se encuentra la verga inferior



(donde está atada la parte inferior de la vela) y en el otro extremo es donde se le aplica la fuerza externa para subirla o bajarla. La polea esta fija en el mástil.

Para grandes pesos se utilizaban polipastos y sistemas de poleas:

- Aplicación de polipasto:

Este tipo de mecanismo sólo se encuentra en la Santa María. Cuenta con dos ruedas fijas entre sí; una de diámetro de 20 cm y la otra con diámetro de 30 cm. Este mecanismo a su vez estaba unido a dos poleas que se encontraban en la cubierta, encerradas en un gran y resistente madero que servía de amarre para los cabos de estos mecanismos.



Polipasto en la Santa María.





Poleas y sistema de amarre en la cubierta.

Aquí vemos el conjunto de los dos mecanismos:



El polipasto de arriba funcionaba como un aparejo factorial y las poleas de abajo no tenían ninguna ventaja mecánica, simplemente servían para más comodidad a la hora de aplicar la fuerza.

Este mecanismo trabaja como un aparejo factorial, donde la ventaja mecánica viene definida por: $P=Q/N$

* Donde P es la fuerza aplicada, Q es la resistencia a vencer y N es el número de ruedas.

En nuestro caso tenemos:

$N = 2$ y F sería la fuerza que un hombre podría aplicar. Un hombre podría aplicar como máximo su propio peso.

Vamos a considerar que el hombre que aplica la fuerza tiene pesa 70 kgf, por lo tanto su peso sería 686 N. Entonces:

- Aplicando una fuerza de 686 N venceríamos una resistencia de 1372 N.
- Aplicando una fuerza de 1372 N, ejercida por dos hombres de características similares, venceríamos una resistencia de 2744 N.

- Aplicación de sistema de poleas:

Estos sistemas de poleas se encuentran en las tres naves con las mismas características. Su función consistía en controlar el velamen del barco, tensar con un cierto grado las velas, destensarlas, cambiar su posición junto a las vergas...etc.

En estos sistemas las poleas trabajaban de dos en dos, consiguiéndose una ventaja mecánica de un aparejo potencial al no estar unidas entre sí.





Sistemas de poleas



Como ya hemos comentado, este sistema de dos poleas funciona como un aparejo potencial: $P=Q/2^n$

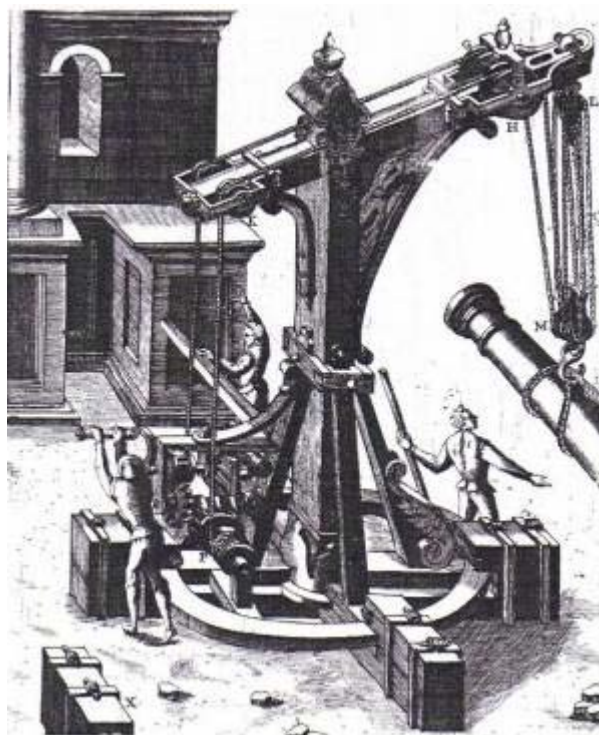
Donde P es la fuerza aplicada, Q es la resistencia vencida y n es el número de poleas

- Un hombre con una masa de 70 kg podía ejercer una fuerza $P = 686 \text{ N}$, con lo que vencía una resistencia de 2744 N.

Podemos comprobar la utilidad de este mecanismo, con el que con una fuerza aplicada se puede vencer una resistencia 4 veces mayor.

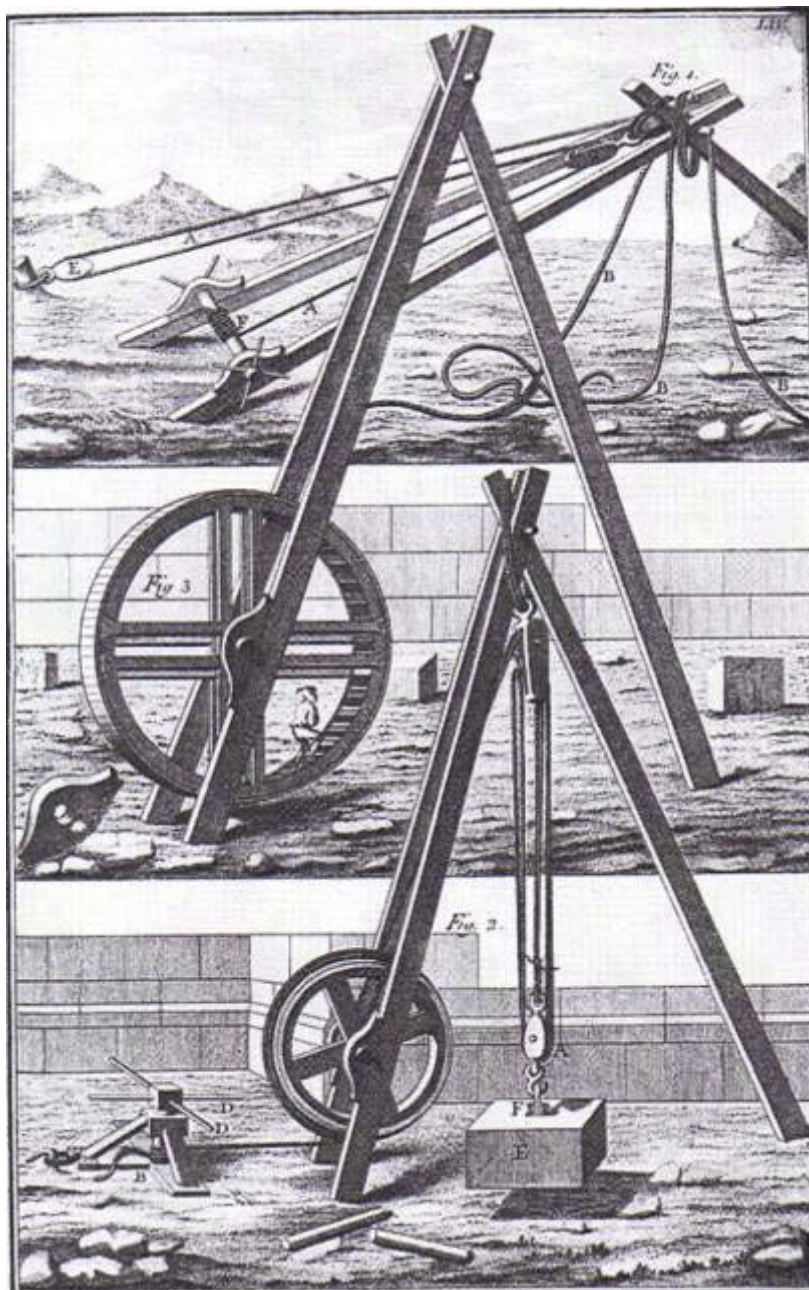
Estos sistemas de dos ruedas se denominan motones y tienen la finalidad de fijar y tensar las jarcias.

Las poleas al igual que el cabrestante, son mecanismos de elevación y se usaba en cualquier sector donde esta tarea era realizada. Pero el sector que aportó más, diseñó, y mejoró las poleas, fue el sector de la construcción donde se requería elevar y desplazar constantemente grandes cargas. Las figuras que se muestran a continuación son ejemplos reseñables de estas máquinas donde las poleas tienen un papel relevante:



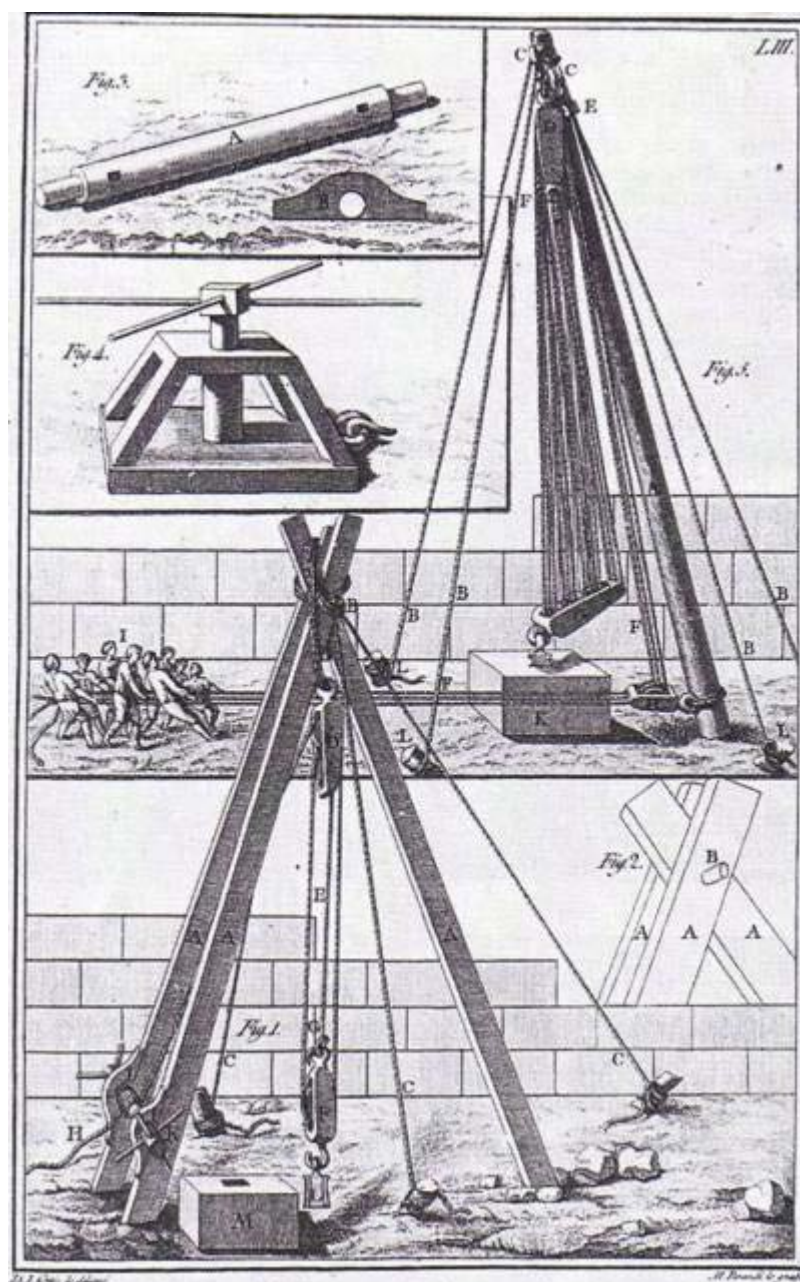
Mecanismo elevador de Ramelli, de "Le Diverse et Artificiose Machine".





Reconstrucción de D. Joseph Ortiz y Sanz de máquinas de Vitruvio para elevación de cargas.
Lámina IV.





Reconstrucción de D. Joseph Ortiz y Sanz de máquinas de Vitruvio para elevación de cargas. Lámina III.

5.2.4.- Timón de codaste

La aparición del timón de codaste o timón axial, significó una auténtica revolución en la construcción naval. Algo tan aparentemente sencillo como era la adaptación de una pala a todo lo largo del codaste, de forma que hiciera cuerpo con la nave, tardó siglos en ser una realidad. Los métodos de gobierno de los barcos eran ya conocidos desde tiempos remotos.



Las representaciones de barcos con remos haciendo las veces de espadillas de gobierno son múltiples y se corresponden con diferentes épocas y civilizaciones. En Hieracópolis, localidad egipcia del alto valle del Nilo, se encontró en una tumba del periodo predinástico, una pintura anterior al año 3000 a.c. en la que aparecía una embarcación, (que posiblemente estuviera construida con papiro) con un remo de gobierno a popa. También en un vaso micénico de hacia 1200 a.c. aparece la nave de Pilo en una representación similar. Las representaciones egipcias del periodo dinástico ya son algo más precisas. En tiempos de Snofru en la IV Dinastía ya había naves con un remo a cada costado y en tiempos de Sahure durante la V Dinastía se elevaba a tres el número de remos.

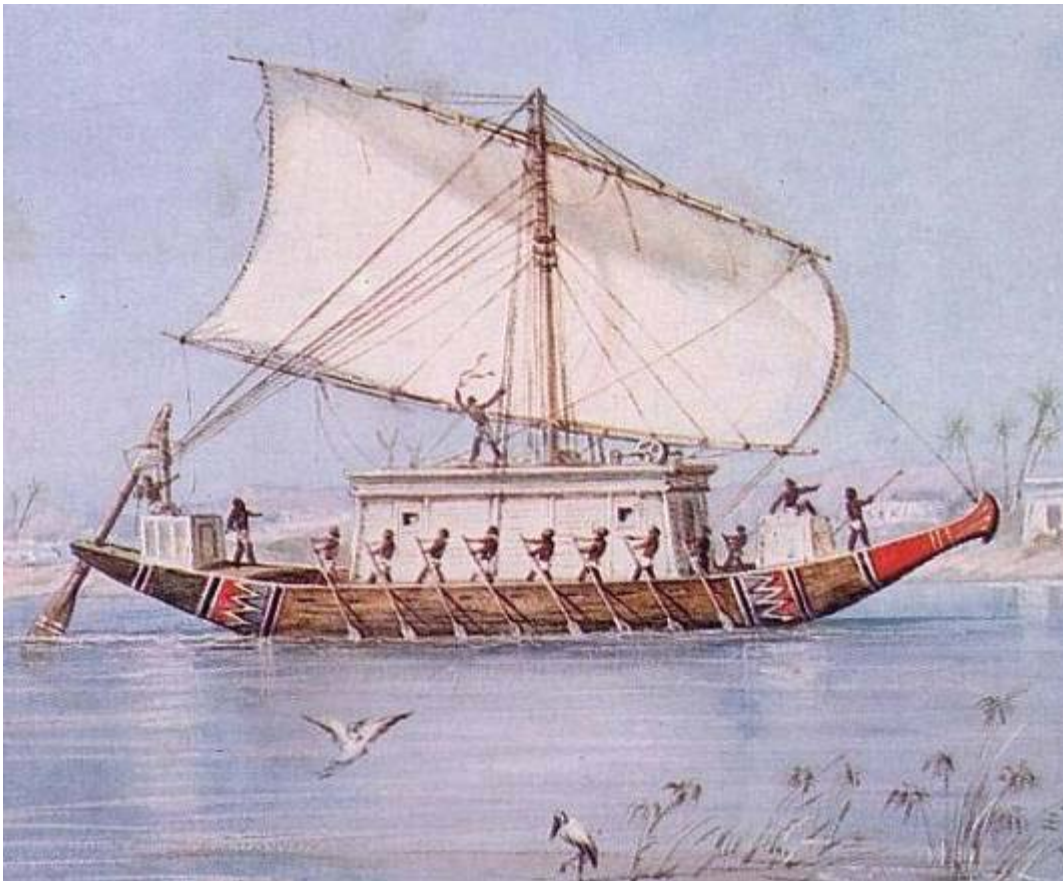
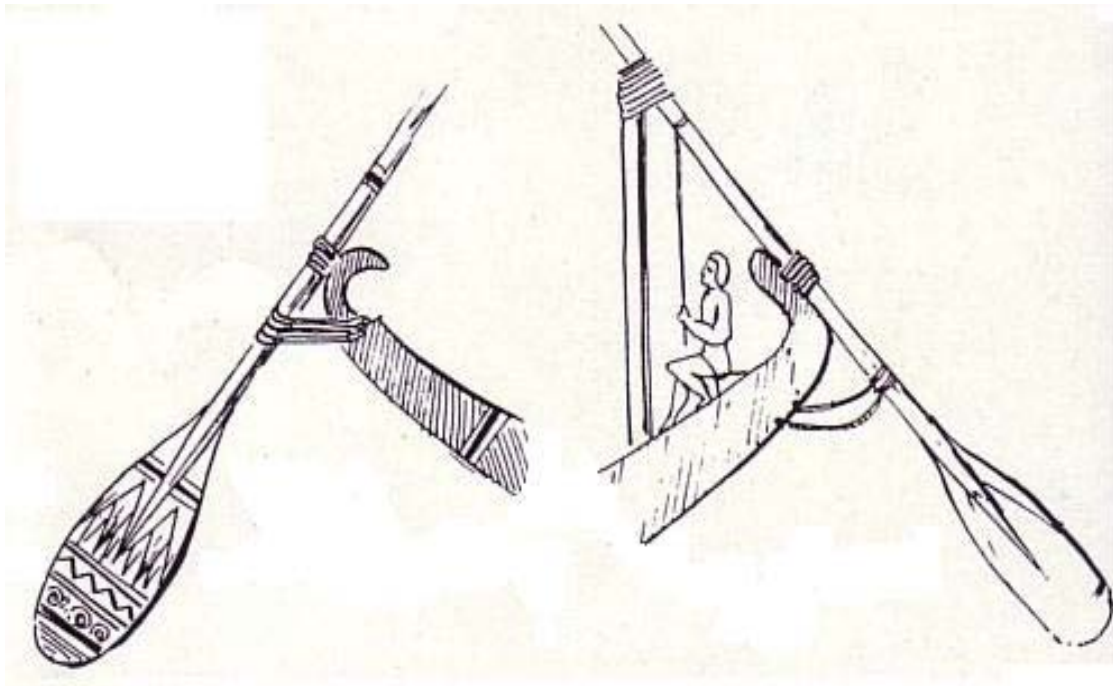


Ilustración de una embarcación egipcia.





Sistema de remos, para el gobierno de la nave.

El método de gobierno de por entonces no está muy claro y se supone que esos remos a modo de timones ayudaban a cambiar el rumbo remando lateralmente con ellos. Es hacia el año 2000 a.c. cuando comienza a usarse haciendo girar esos remos, método que duraría con ligeras variantes unos 3000 años.

Pasados los años se llega a la era de Homero, en el cual el timón ó “pedálion”, la caña ó “hoiéion” y el timonel ó “pedialouchos”, toman particular importancia y en los bajorrelieves de Ostia de finales de siglo II a.c., podemos ver representaciones de timones griegos y romanos. Estos timones estaban formados por una gruesa madre ó “asser” que sostenía la pala ó “palmula”. Una estructura saliente situada por debajo de la cubierta, era donde se sujetaba el timón, cuya pala iba embutida en la madre, y ésta, sujeta a su vez por una retenida, que trincaba el timón a la amurada y facilitaba su movilidad. La retenida facilitaba también el desmontaje del timón cuando se debía varar la nave o se fondeaba; maniobra de desmontaje que se llevaba a cabo para evitar averías.



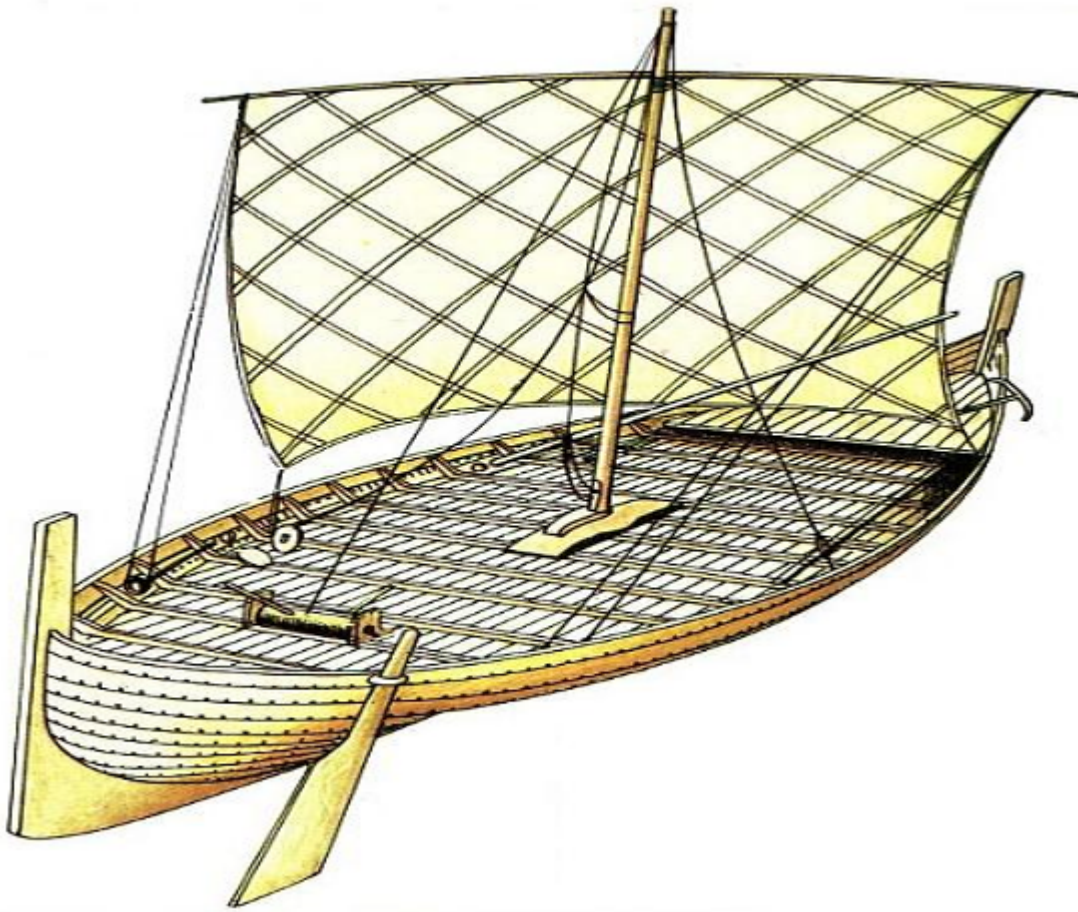


Reconstrucción de un trirreme del siglo VII a.c. donde se puede apreciar el sistema romano de gobierno.

Los timones romanos los manejaba un solo hombre por medio de dos cañas horizontales. Durante la maniobra se mantenía uno a la vía mientras se giraba el de la banda a la que se debía caer.

Hacia el siglo III d.c. es cuando se cree que aparece el timón lateral único, el ejemplar más antiguo encontrado en la región de Schelswig hacia 1863 esta datado hacia dicho siglo, aunque también se supone que se habían usado con anterioridad modelos laterales similares pero algo más rudimentarios. Vikingos, franceses y británicos usaron el timón lateral y se pueden ver representaciones de él en tapices dibujos o grabados.





Timón lateral. De él, sale la regla tradicional de trazar los planos de formas con la popa a la izquierda, mostrando siempre el costado de estribor de las naves o buques y también la palabra tan conocida estribor procedente de Starboard o Steerboard traducido como costado de gobierno.

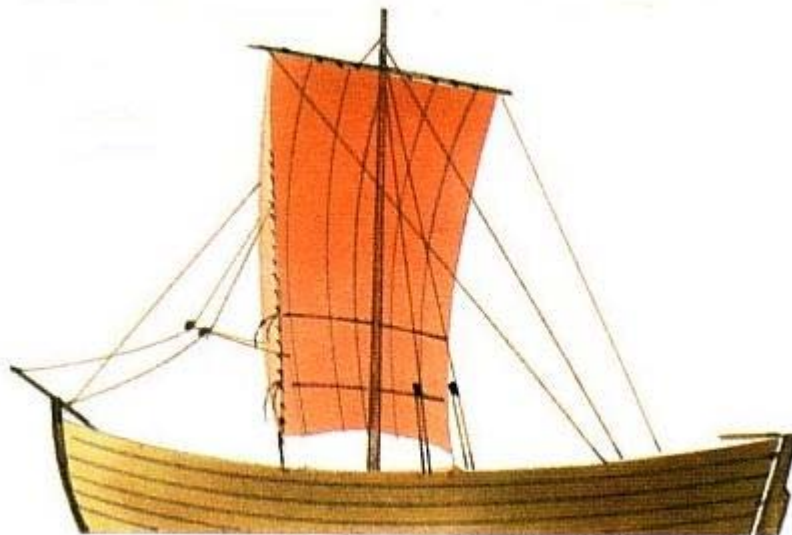
El timón lateral fue útil mientras las naves surcaron los mares con vientos de popa, cosa que ocurrió durante milenios, pero surgió un inconveniente cuando los buques de vela comenzaron a navegar con vientos de través, que eran especialmente perjudiciales cuando soplaban por estribor, pues si el viento era fuerte la pala del timón salía parcial o totalmente del agua, haciendo que dicho timón fuera menos eficaz e incluso inútil.

El inconveniente se solucionaba con timones dobles, como en las naves romanas, lo que indica que el timón central también conocido como timón a la navaresca o de codaste sea un invento nórdico, pues su aparición y evolución van asociadas a la época en que los navegantes nórdicos comenzaron a barloventear; éste origen no está muy claro como veremos más adelante.

La denominación de timón a la navaresca se dio en Italia al timón central o de codaste difundida más tarde a otros países mediterráneos entre ellos España y



procede del hecho de que éste tipo de timón fue usado por primera vez en naves de grandes dimensiones y alto bordo con velas cuadras como las cocas del siglo XIV.



En esta imagen vemos una nave sueca que comenzó a navegar de finales del siglo XII a comienzos del del siglo XIII año 1200.

Su instalación permitió construir barcos de más eslora y con más aparejo para poder mejor ceñir al viento. Fue un factor decisivo que marcó el paso de, una era a otra y que hizo posibles las grandes exploraciones oceánicas. Puede afirmarse que junto al estribo en las sillas de montar, y la collera para animales de tiro, fue uno de los grandes inventos de la Edad Media.

No se sabe con certeza el momento de su aparición en Europa. A mediados del siglo XIII ya estaba ampliamente difundido por el Mediterráneo aunque se discute todavía si su aparición fue anterior. En la catedral de Winchester existe un bajo relieve de 1080 que representa un barco con un timón muy parecido. En todo caso la invasión de Inglaterra por Guillermo el Duque de Normandía, pocos años antes, se llevó a cabo por barcos dotados todavía con remo-espadilla, tal como aparecen representados en la tapicería de la reina Matilde en Bayeux.

Bjöm Landström en su libro “El Buque”, presenta el dibujo de un tríptico del Siglo XII de la iglesia de Skang, al sur de Suecia, en el que aparecen, sin lugar a dudas, tres barcos en relieve con timón de codaste. Las cocas hanseáticas lo utilizaban mucho antes de que fueran de uso común en el Mediterráneo, por ello es probable que un barco báltico lo introdujera en el “Mare Nostrum” en la época de nuestro relato. Genoveses y venecianos lo adoptaron enseguida,



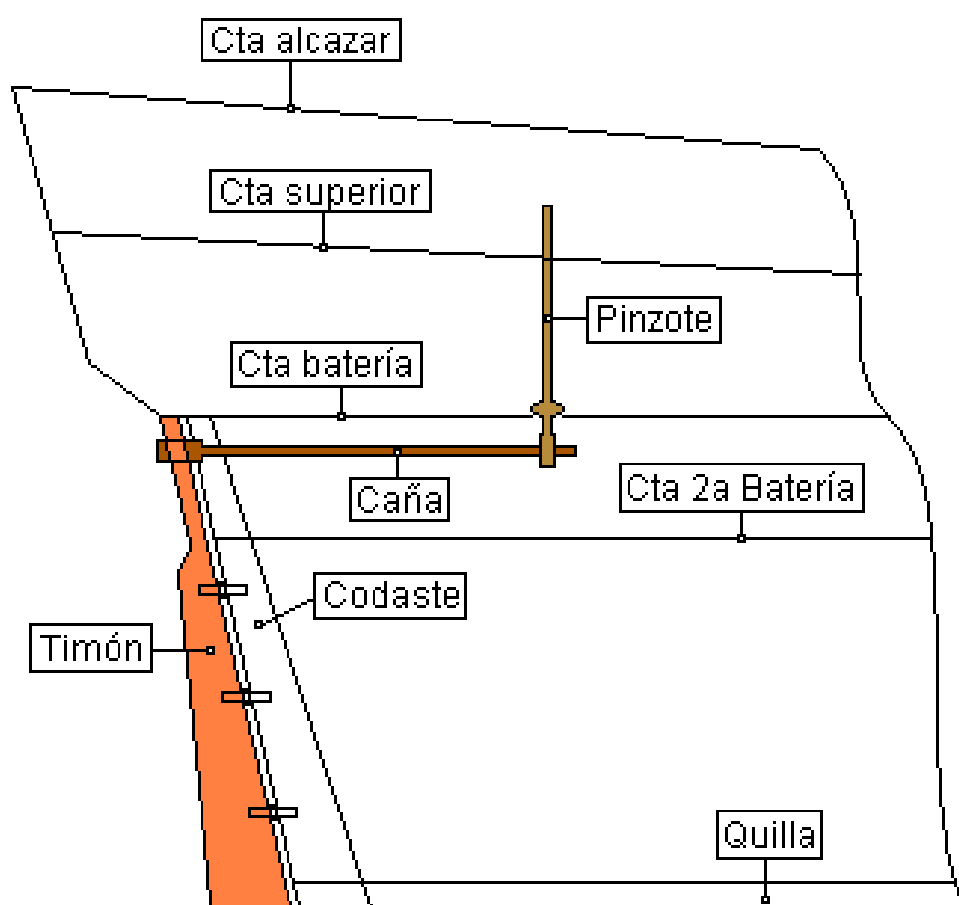
aunque éstos últimos lo combinaron con el remo hasta que se convencieron de que éste no era necesario.

La historia no acaba aquí porque en una de las 99 miniaturas que hay en un manuscrito árabe de la biblioteca nacional de París fechado en el año 634 (1237 de la era cristiana) firmado por Yayha ibn Mohamoud que ilustra 50 conversaciones de Abbu Mohamud al Qasim al-Hariri (1054-1121) escritor y filólogo árabe aparece una nave con timón central. Prescindiendo de la antigüedad del manuscrito respecto al sello de Elbing es posible que el timón central apareciera de un modo simultáneo en el Norte de Europa y en el Golfo Pérsico (al Hariri era natural de al-Basra, más conocida por Basora) y que de allí se difundiera hacia el Mediterráneo.

Llegamos a la época de los grandes descubrimientos y por tanto a la época de las grandes travesías en barco al tiempo que dejamos la Edad Media y nos adentramos en la Edad Moderna. Durante este nuevo periodo el timón no evoluciona de un modo importante, pala de forma rectangular o con una ligera forma trapezoidal en la parte sumergida, en la parte alta se encajaba una larga caña, que penetraba en el interior del casco por una abertura practicada en la base de la bobedilla. Los grandes buques de entonces con varias cubiertas y puentes, eran movidos por los timoneles con la ayuda de aparejos y orientándose con un compás o a viva voz por un oficial o marinero situado en cubierta, pues los timoneles no veían nada hacia el exterior en la mayoría de los casos.

Hacia comienzos o primera mitad del siglo XVII, apareció una mejora importante, se aplicó a la caña un palo vertical llamado pinzote, que girando sobre un soporte y saliendo hasta la cubierta superior, permitía ángulos de medida de entre 5° y 10° a cualquiera de las bandas. Este método daba la ventaja al timonel de ver la cubierta y la orientación de las velas.

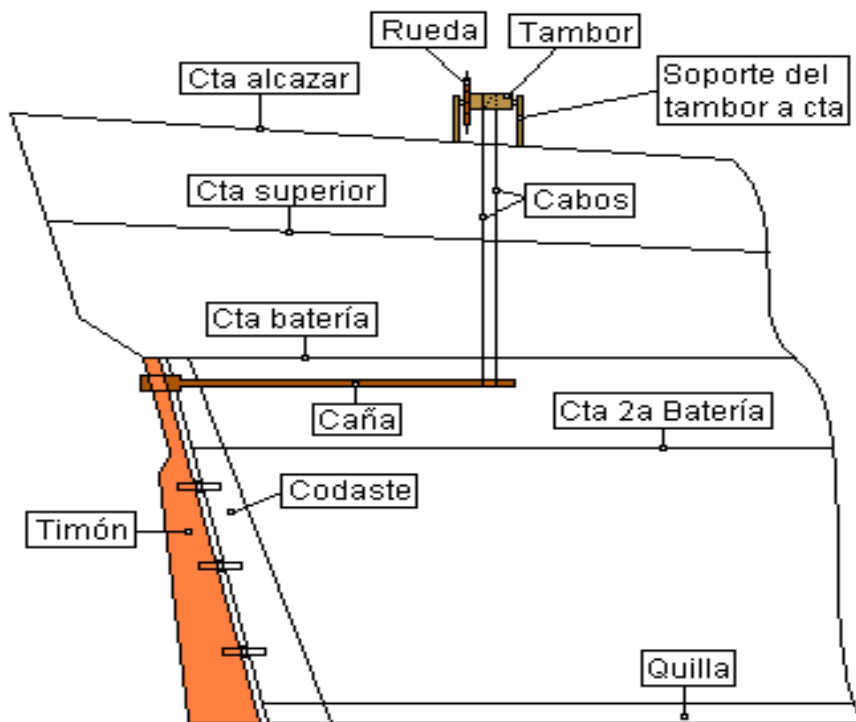




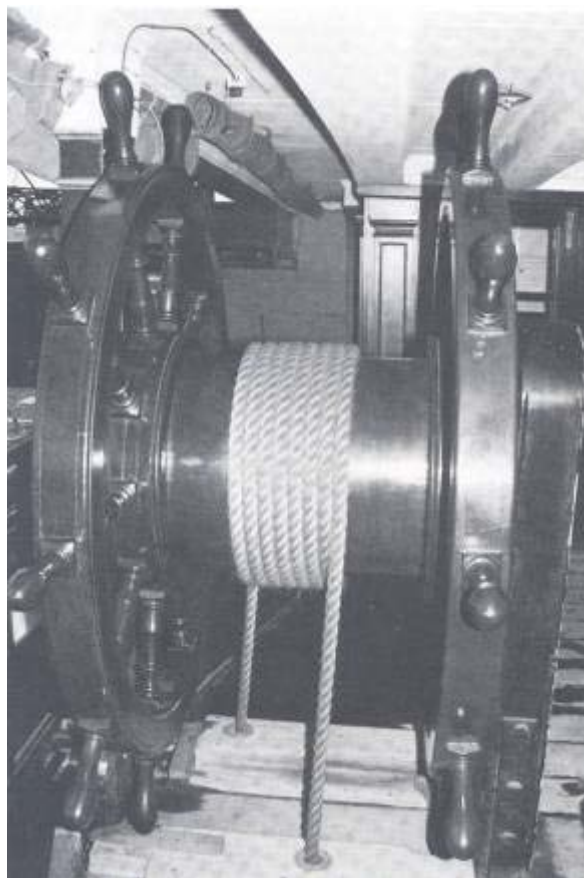
Timón con pinzote.

Cuando ya acababa esa primera mitad del siglo XVII, hubo varios intentos de sacarlo a cubierta alargando los cabos de los aparejos que movían la caña. De esas pruebas nacerá el primer método de gobierno a distancia que en su forma más simple consistía en una especie de tambor donde iba enrollado el seno de un cabo cuyos extremos o chicotes iban sujetos a los cabos del aparejo formado por dos motones uno fijo a la amurada y otro móvil sujeto a la caña. El tambor llevaba en una de sus cabezas la famosa rueda con cabillas que hoy en día y junto al ancla o independientemente constituyen los símbolos más expresivos de cualquier tema relacionado con el mar.





Timón de Tambor.

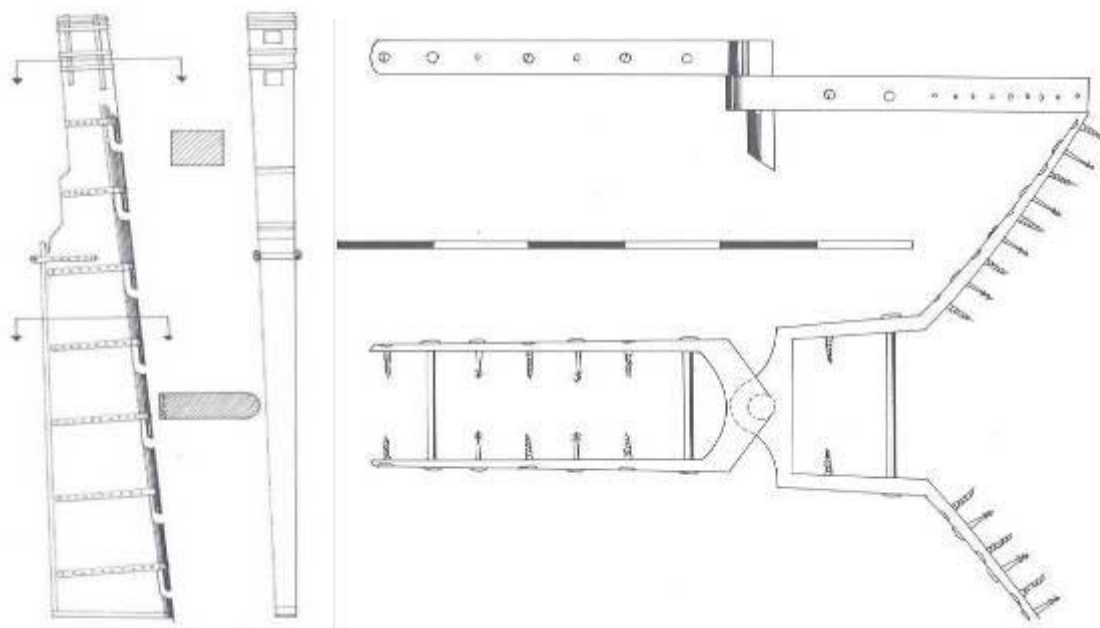


Tambor del barco inglés "Victory" del siglo XVIII y que todavía hoy se conserva.



Con el nuevo sistema y con leves modificaciones sobre él, transcurre la gloriosa época de las exploraciones y de la navegación a vela.

Debido a los esfuerzos de presión y golpes de mar, los constructores navales debían tener mucho cuidado en colocar el timón perfectamente equilibrado y, bien sujeto al codaste, para que la mar no pudiera arrancarlo. Se utilizaban clavazón, flejes, argollas y pivotes para el machihembrado y debían de ser de hierro bien fundido. En el primer viaje de Colón, la nao y las dos carabelas tuvieron, en su primera etapa hacia las islas Canarias, siempre la mar de popa. La depresión térmica el Sahara y un anticiclón de las Azores, propició un viento fresco en dirección sur que siempre fue favorable a los tres buques, pero que al mismo tiempo puso a prueba la solidez de sus timones de codaste. El 6 de agosto de 1492, “saltó o desencajase el gobernalle de la carabela Pinta donde iba Martín Alonso Pinzón a lo que se creyó y sospechó por la industria de un tal Gómez de Rascón y Cristóbal Quinto” (según escritos de José Luis Asúnsolo recogidos en la Fundación Del Mar). Fuera por sabotaje o por colocación defectuosa, el caso es que el timón saltó dejando al buque sin gobierno. Tuvieron que arriar las velas y preparar un timón de fortuna atado con cabos que fue incapaz de resistir mucho tiempo, ya que al día siguiente volvió a saltar. Se volvió a reponer el timón de fortuna pero no consiguieron equilibrarlo y en esa posición forzada parece que descentró el codaste o desencajó las tracas del forro en la obra viva, comenzando el buque a hacer agua con gran preocupación de Colón.

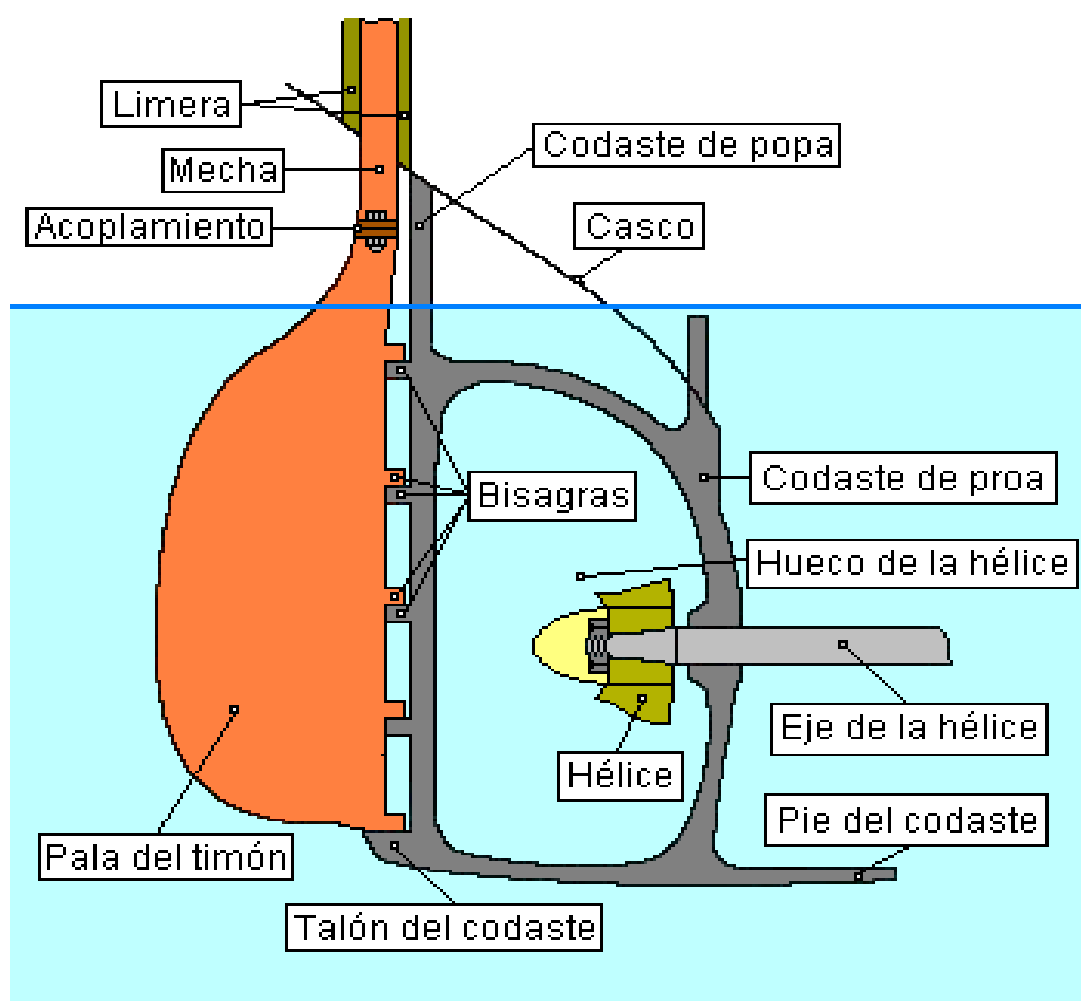


Pala del timón. Los pinzotes y sus alojamientos.



El Almirante decidió abandonar la Pinta en Canarias y comprar un “carabelón” que sabía se encontraba en las islas. Cuando supo que esa embarcación acababa de zarpar para África, resolvió reparar a fondo la Pinta en la Gomera, reparación que duró casi un mes, lo que da idea de la magnitud de la avería. Fue una verdadera casualidad que el “carabelón” no se encontrara en Canarias. De haber estado allí, la Pinta no habría atravesado el Atlántico con la flotilla del descubridor y no figuraría entre los barcos legendarios de la Historia Naval.

En la actualidad, el principio básico de ese gran invento, a pesar de todas sus mejoras, sigue siendo el mismo. La mayor parte de los grandes buques que atraviesan nuestros mares siguen llevando en sus codastes estos timones axiales, en este caso, gigantescos, en comparación con aquellos de madera que hicieron posibles las primeras gestas oceánicas, y propulsados mediante corrientes creadas por hélices.



Construcción del Timón de las Carabelas

El timón para gobierno de la nave estará compuesto de dos piezas cuya mayor dimensión está dispuesta verticalmente. Son estas de madre, la mas larga y próxima al codaste y sobre la que se monta la caña, y la pala, compuesta a su vez de dos azafranes mas cortos que la madre y que sobresalen unos decímetros por encima de la flotación. El ancho de este conjunto es máximo en el pie y aproximadamente los 2/3 en la flotación, volviendo a disminuir arriba. El grueso será el del codaste.

Estas tras piezas se unirán con cabillas pasantes de proa a popa del timón y con herrajes que las abrazan exteriormente.

Sobre el canto de proa de la madre se colocaran cuatro pinzotes que se alojaran en las hembras firmes al codaste, por medio de unas pesadas, y de igual forma se sujetarán los pinzotes al timón.

Tendrán un largo triple del grueso y de grueso el cuarto del ancho. Para impedir que exista apoyo y por tanto rozamiento entre los pinzotes y las hembras, y se dificulte el manejo de la caña, se colocará un soporte bajo el pinzote más elevado que impedirá el descenso completo del timón y solo permitirá el giro del mismo.

A la quilla se le dará un pequeño talón hacia popa y a la madre del timón se le rebajará en esa misma cantidad de modo que entre ambos quede un huelgo escaso para impedir que un cabo o estacha pueda penetrar entre ambas piezas con el consiguiente daño o dificultad de maniobra en el timón.

La caña es una barra de madera de sección rectangular, con su lado mayor horizontal, y que se encastra sobre la cabeza de la madre colocando seguidamente unas cabillas para impedir que se salga.

La madre se construirá de roble albar, los axafranes de pino silvestre y la caña de roble albero.

Los pinzotes y las hembras serán de bronce, lo mismo que las pernadas que las soportan. Todas las cabillas serán de bronce.

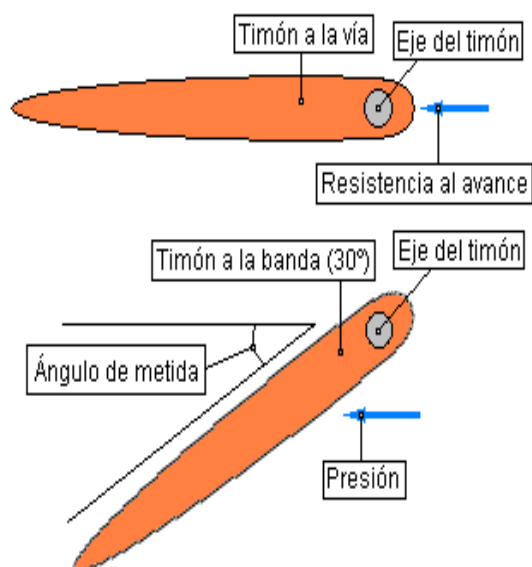
Como ya sabemos, el Timón es el dispositivo utilizado para maniobrar un medio de transporte que se mueva a través de un fluido. Un timón funciona orientando el fluido produciendo un efecto de giro o de empuje. El timón de codaste estaba formado por un tablón o una pieza de hierro, articulado con goznes en el codaste o prolongación de la quilla por la parte de popa.



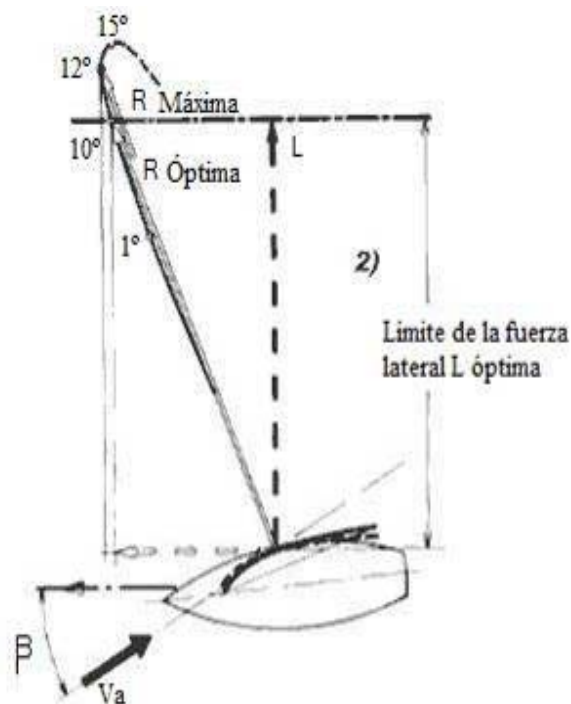
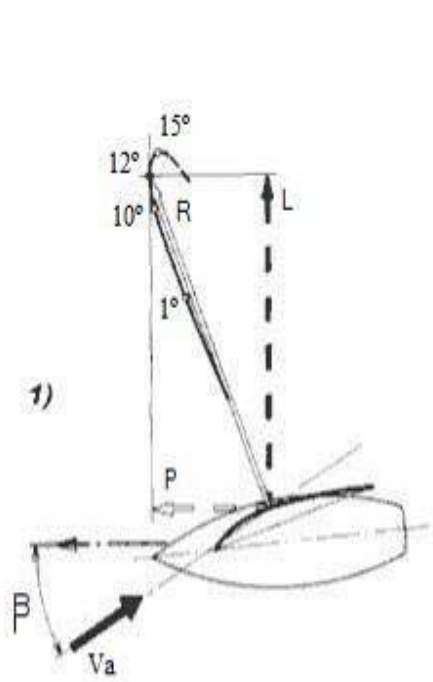
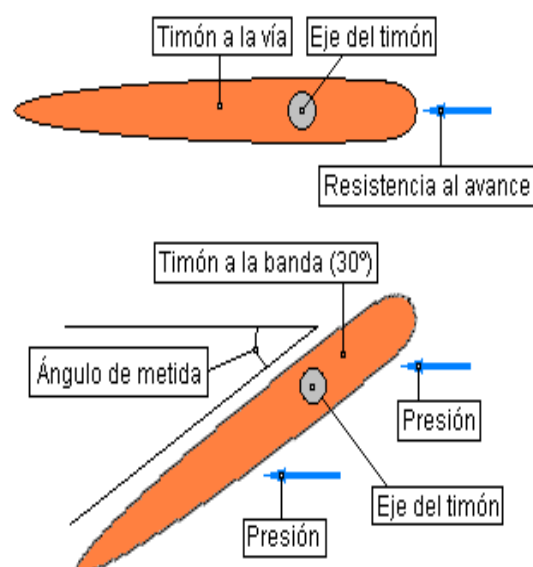
Cuando el timón está situado en línea respecto a la marcha del buque se dice que el timón esta a la vía por tanto su efecto es prácticamente nulo y solo ofrece la resistencia hidrodinámica debida al rozamiento. No obstante el buque en ocasiones y debido a la acción del mar puede dar alguna guiñada y es necesario actuar ligeramente sobre el timón para conservar el rumbo. Si se actúa sobre el timón y éste forma un ángulo respecto al plano diametral o sentido de marcha se dice que el timón se encuentra a la banda y el ángulo que forma se llama ángulo de metida. Este ángulo de metida o ataque tiene gran importancia sobre el empuje aerodinámico de la nave.



Timón ordinario



Timón compensado



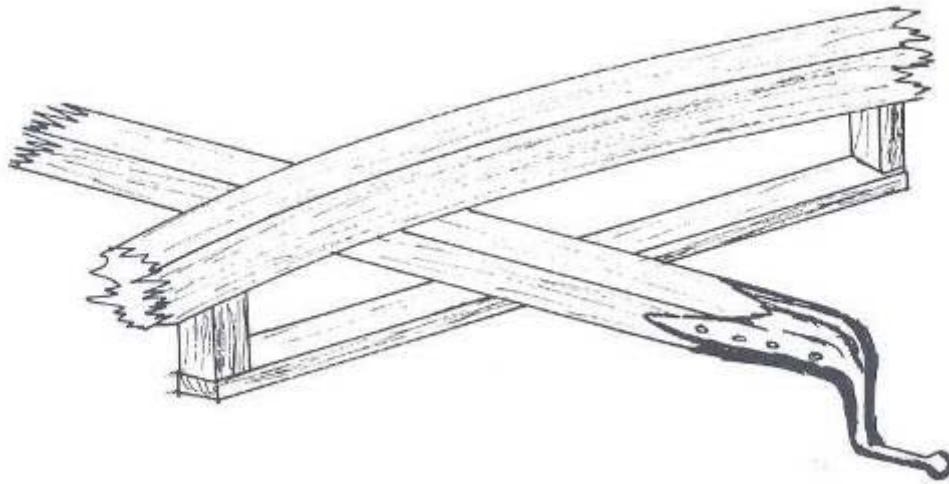
Explicación de los gráficos:

1) Para un ángulo de viento aparente (beta) dado, el ángulo de incidencia que dará la fuerza de propulsión máxima es el correspondiente al punto de tangencia de la polar de la fuerza R con una perpendicular al rumbo real.



2) Existe un ángulo de escora máximo por encima del cual la velocidad disminuye. A este ángulo de escora le corresponde una fuerza lateral L máxima que no hay que superar en ningún caso.

El ángulo más eficaz de metida es por lo general de 36° (entre 35° y 40°) es por ello que se solían poner unos topes, uno a cada banda para que el timón no sobrepase esos ángulos máximos.



En las recreaciones de las Carabelas, en la Rábida, ninguna de ellas presenta este tipo de mecanismo de bloqueo del ángulo del timón. Este mecanismo se comenzó a utilizar sobretodo en embarcaciones ya posteriores del siglo XVII.

La fuerza que actúa sobre el timón depende:

- a) De la superficie de la pala
- b) De la velocidad del buque
- c) Del ángulo de metida
- e) Del perfil de la pala y sus secciones.

Un factor, también muy importante, es la velocidad de gobierno, que se define como la velocidad mínima para que la acción del timón sea eficaz. La velocidad de gobierno varía según las características de cada buque (por ejemplo los buques lentos disponen de un timón de grandes dimensiones que les permiten maniobrar a muy baja velocidad mientras que los buques rápidos llevan timones pequeños que exigen una velocidad mucho mayor para que el timón



sea efectivo) y depende también de otras circunstancias tales como intensidad y dirección de la corriente.



Tablón de madera (pala del timón), En la Pinta. Muelle de las carabelas, Palos de la Frontera



Timón articulado con goznes en el codaste en la pinta. Muelle de las carabelas, Palos de la Frontera.



Las dimensiones de los timones varían según el tamaño de las naves; será más grande cuanto mayor sea el tamaño de la nave y viceversa. Su funcionamiento es muy sencillo:



Se le aplica una fuerza al madero (pala del timón) hacia el lado deseado, según la maniobra a realizar, sobre la parte más alejada del fulcro. Para hacer que el brazo de potencia sea mayor y la resistencia vencida sea máxima.



El timón unido al codaste, gira solidariamente con la guía pero hacia el lado contrario, por el movimiento de palanca.

El timón de Codaste se basa en el principio de la Ley de la palanca.

El Timón es un mecanismo de palanca de primer grado donde se sitúa la carga (**R**, resistencia) a un lado del fulcro y el esfuerzo (**P**, potencia) al otro. Esto nos permite conseguir que la potencia y la resistencia tengan movimientos contrarios cuya amplitud (desplazamiento de la potencia y de la resistencia) dependerá de las respectivas distancias al fulcro.

La aplicación de este mecanismo según la ley de la palanca es:

$$F \times B_p = R \times B_r$$

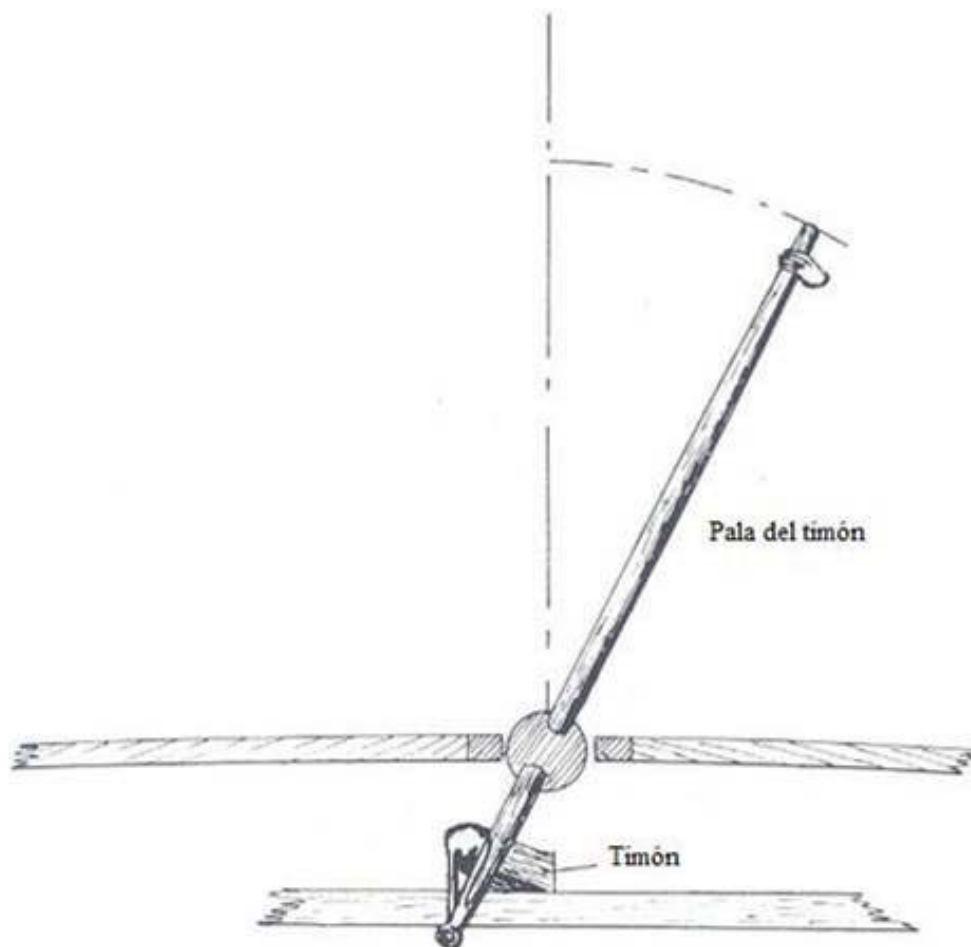


* La fuerza ejercida depende de muchos factores:

- Forma física de la persona que la ejerce
- Cuantas personas ejercen la fuerza
- De la manera que se ejerce la fuerza

Esta fuerza ejercida sobre la pala del timón a bordo de las carabelas, según podemos ver en las recreaciones, podía ser ejercida de dos formas:

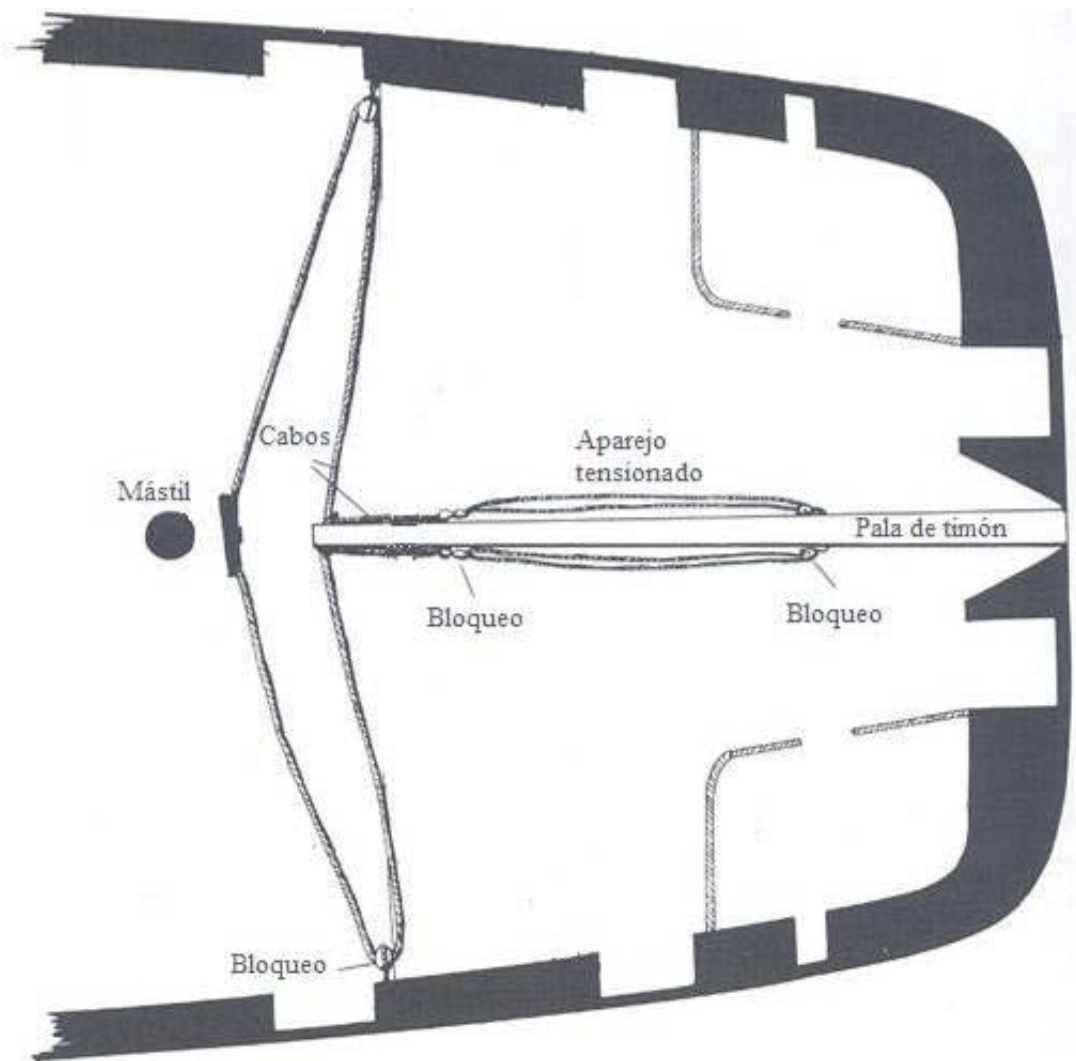
- Accionando el timón manualmente.



Los timones eran grandes, de madera de roble generalmente, tenían la misma anchura que el codaste y se sujetaban a él mediante herrajes de hierro forjado. Con un mínimo de mar y manejar la caña obligaba a que los hombres encargados de llevar el rumbo tuvieran que ser sustituidos continuamente.



- Accionando el timón mediante cabos y rueda.



Representación del sistema de accionamiento del timón mediante cabos y rueda.

Para facilitar su manejo instalaban, o bien un aparejo con unos motones hecho firmes a la caña y a ambos costados de la cubierta, o un pinzote vertical que salía por la cubierta de la tolda.

De esta manera se conseguía además, mantener un rumbo constante sin la necesidad de que un miembro de la tripulación tuviera que estar continuamente manejando el timón, gracias a las ruedas y los aparejos que podían mantener bloqueado al timón en un determinado ángulo, prácticamente constante.

Este tipo de accionamiento se puede observar tanto en la Pinta, en la Niña y en la Santa María.





Sistema de accionamiento del timón mediante cabos y rueda en la Santa María.



Sistema de accionamiento del timón mediante cabos y rueda en la Pinta.





Pala del timón en la Niña.

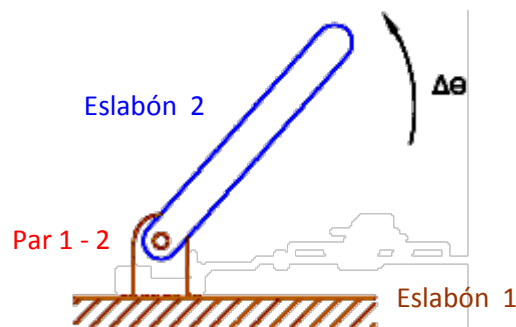
Aquí no se observa el montaje de los cabos y las ruedas, pero en el extremo de la pala del timón se ven claramente unos estribos para atar los cabos.



Estribos para poder atar y fijar los cabos a la pala del timón en la Niña.



Este mecanismo consta de dos eslabones; el eslabón 1 sería la popa del barco y el eslabón 2 la pala del timón donde se aplica la fuerza junto al propio timón que giran solidariamente. Estos dos eslabones están unidos entre sí por un par cinemático rotativo, que únicamente permite el movimiento angular en una dirección entre los dos eslabones.

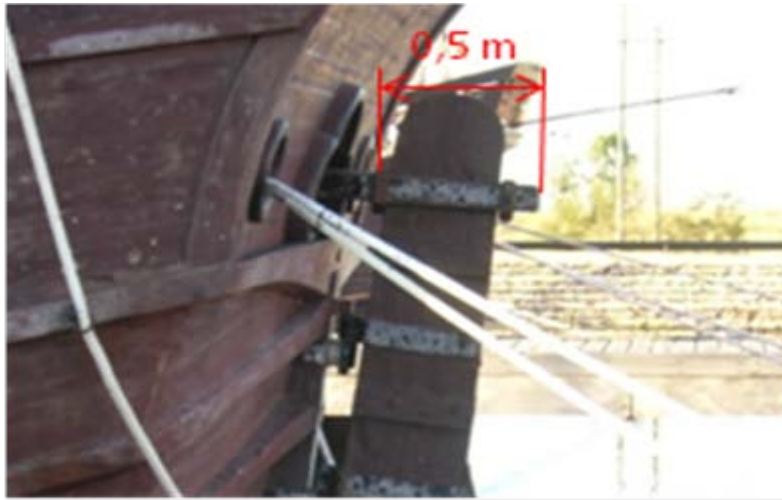


Representación esquemática del mecanismo del timón.

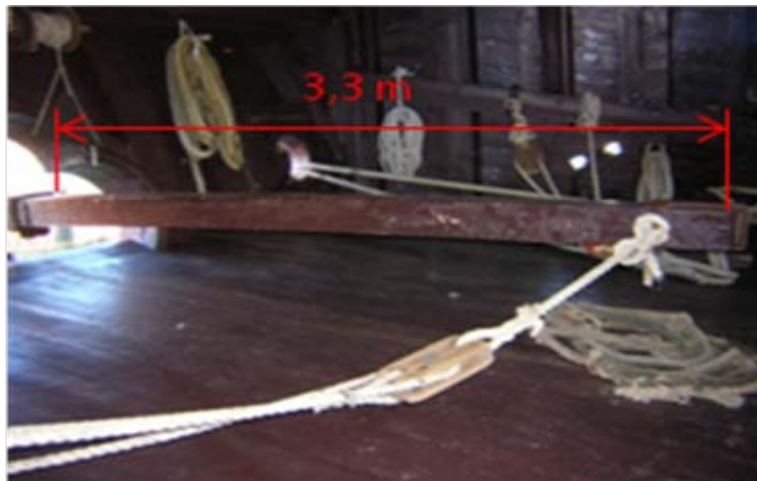
Este mecanismo al igual que el cabrestante es de 1 grado de libertad debido a que se compone de dos eslabones y un par cinemático rotativo con un grado de libertad.



- Aplicación de la ley de la palanca en el timón de la Santa María:



$BR = 0,5 \text{ m}$



$BP = 3,30 \text{ m}$





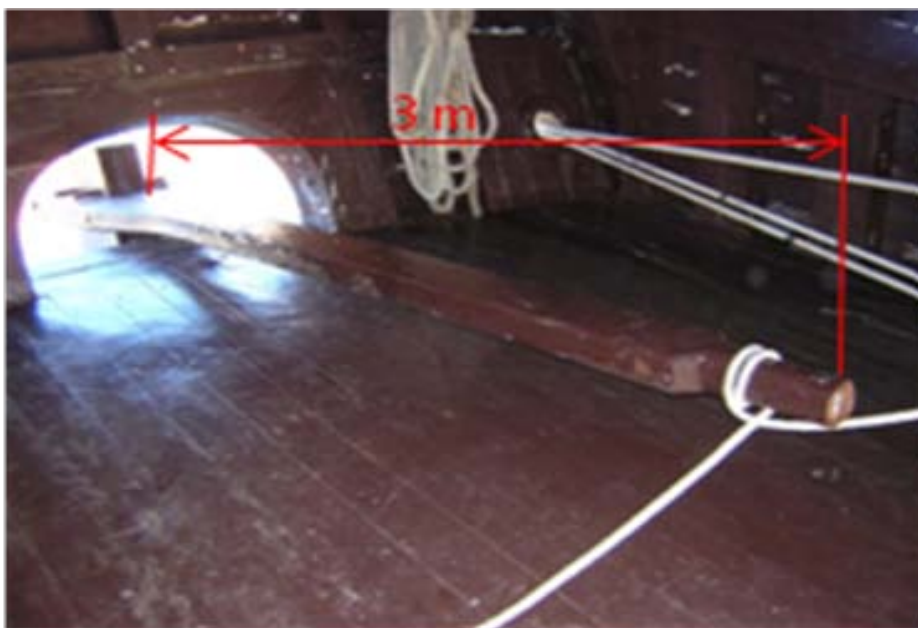
Punto de aplicación de la fuerza.

- Vamos a considerar que la fuerza ejercida sobre el punto de aplicación del timón de un hombre es de 300 N; aplicando la ley de la palanca; la resistencia vencida es de 1980 N.
- Si la fuerza es aplicada por dos hombres, la fuerza seria de 600 N y la resistencia vencida 3960 N.





$BR = 0,5 \text{ m}$



$BP = 3 \text{ m}$





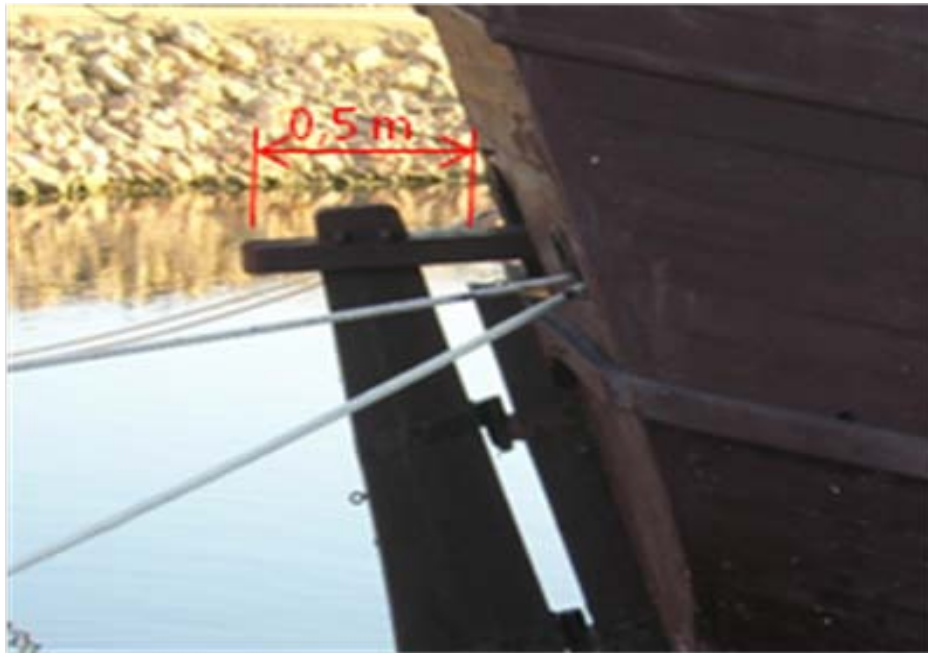
Punto de aplicación de la fuerza.

- Vamos a considerar que la fuerza ejercida sobre el punto de aplicación del timón de un hombre es de 300 N; aplicando la ley de la palanca; la resistencia vencida es de 1800 N.
- Si la fuerza es aplicada por dos hombres, la fuerza seria de 600 N y la resistencia vencida 3600 N.

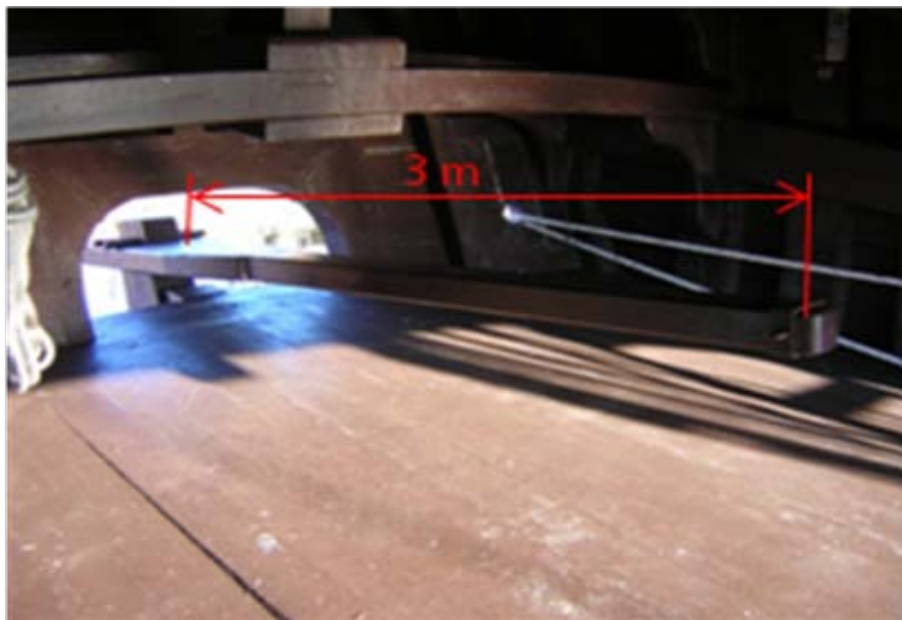
Podemos observar y comparar con la Santa María la resistencia vencida. Al disminuir el brazo de potencia, la resistencia vencida realizando la misma fuerza es mucho menor. Tan sólo una variación de 30 centímetros en el brazo de potencia supone una variación de 180 N, aplicando la fuerza de una sola persona y de 360 N en el caso de la fuerza aplicada por dos personas.



- Aplicación de la ley de la palanca en el timón de la Niña:



$$BR = 0,5 \text{ m}$$



$$BP = 3 \text{ m}$$



El timón de codaste, observado como timón no tiene ninguna otra utilidad fuera de la navegación, pero si lo observamos como un mecanismo de palanca de primer grado los usos y las aplicaciones de este mecanismo se abren en un gran abanico. Se utiliza para cualquier trabajo que implique un cambio de sentido del movimiento o levantar cualquier peso. También puede ser la componente de una máquina compuesta.



5.3.- Sistemas mecánicos.

5.3.1- Sistema mecánico de izado de vergas.

Para el trabajo de izar los enormes pesos que suponían las vergas en la labor de velas, estudiaremos la unión de los diferentes eslabones mecánicos y mecanismos simples que componían el sistema mecánico del que se ayudaban los marineros. Nos centraremos en el caso concreto del laboreo del palo mayor de la Nao, siendo el sistema una composición de los siguientes eslabones y mecanismos.

5.3.1.1 Eslabones.

- **Eslabón palo mayor.** Situado entre los palos de proa y popa, trinquete y mesana respectivamente, encontramos el palo mayor. Sobre él está sustentado el resto del sistema mecánico.



- **Jarcias.** Como sabemos, la jarcia es el eslabón flexible (cuerda) encargado de la unión y desplazamiento del resto de elementos mecánicos. Puede tratarse de jarcia firme, o como en este caso, de jarcia de labor.

Como se puede observar hay cinco cabos de los que halar.

- 2 cabos llamados amantillos suben hasta polea fija unida al mástil y, tras pasar por polea móvil unida a extremo de la verga, tira de esta hacia arriba.
- 2 cabos llamados medioamantillos suben hasta polea fija unida al mástil y, tras pasar por polea móvil unida al extremo de la verga, tira de ésta por un punto a medio camino entre su extremo y su unión con el mástil



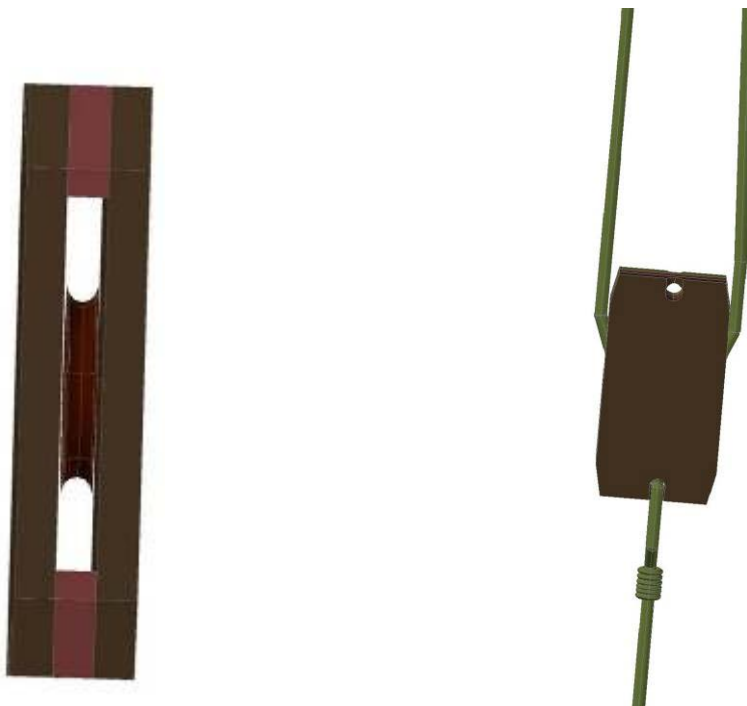
- 1 cabo pasa por polipastos 2 y 1. Al tirar del cabo saliente del polipasto 1 se produce el desplazamiento de éste hacia el polipasto 2. Esta bajada del polipasto 1 tira de las *drizas*, que tras pasar por poleas fijas en lo alto del mástil, tiran de la verga por su parte central.



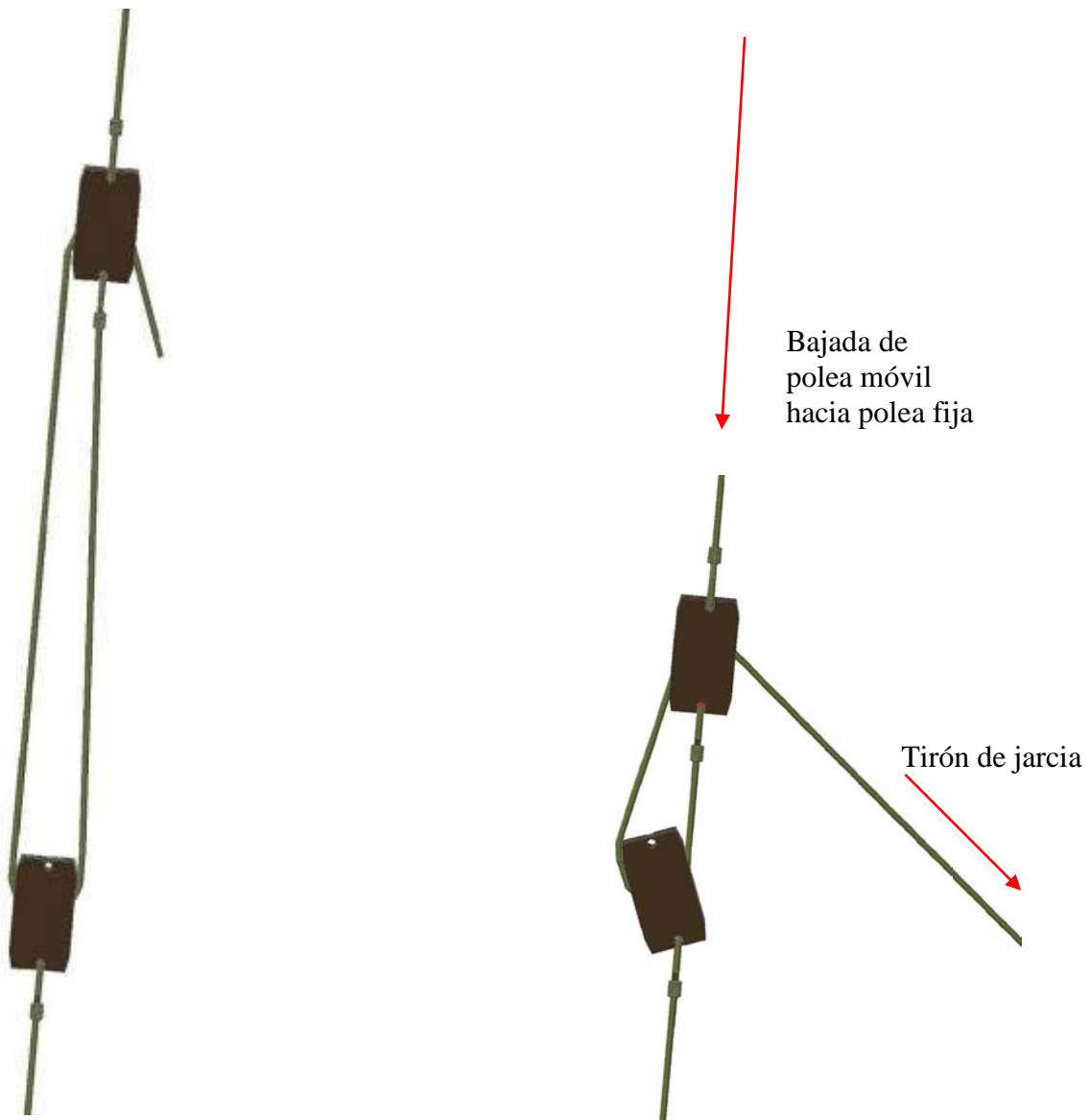
- **Eslabón verga.** El cambio de posición de ésta con respecto al mástil provoca el despliegue o la recogida de la vela mayor, siendo este el fin del sistema mecánico al que nos referimos. La verga del palo mayor estaba compuesta por la unión de dos vergas para formar otra de mayor longitud. De ella tiraban 6 jarcias. Dos llamadas *amantillo* atadas a los extremos, dos llamadas *medioamantillo* atadas a medio camino entre el extremo y la unión con el mástil, y por último dos jarcias centrales llamadas *drizas*.

5.3.1.2. Mecanismos

- **Polea Simple.** Son usadas para direccionar el paso de las jarcias y provocar las tensiones que hacen subir y bajar la verga, afianzar el mástil u orientarlo. Se une con jarcias a las vergas o al mástil por orificios en sus extremos a la vez que otra jarcia pasa por su polea central. Eran necesarias un total de ocho poleas sencillas como esta, estratégicamente colocadas, para el trabajo del levantamiento de la verga del palo mayor de la Nao.



- **Sistema de Poleas Simples** . Cuando dos o mas poleas sencillas se unen se consigue además de redirigir el sentido del tiro de jarcias, una ventaja mecánica muy valiosa en casos como este, en el que se trabajaba con pesos considerables. Los usados en al Nao constan de una polea fija y otra móvil. En el desplazamiento del conjunto la polea móvil se desplaza hacia la fija.

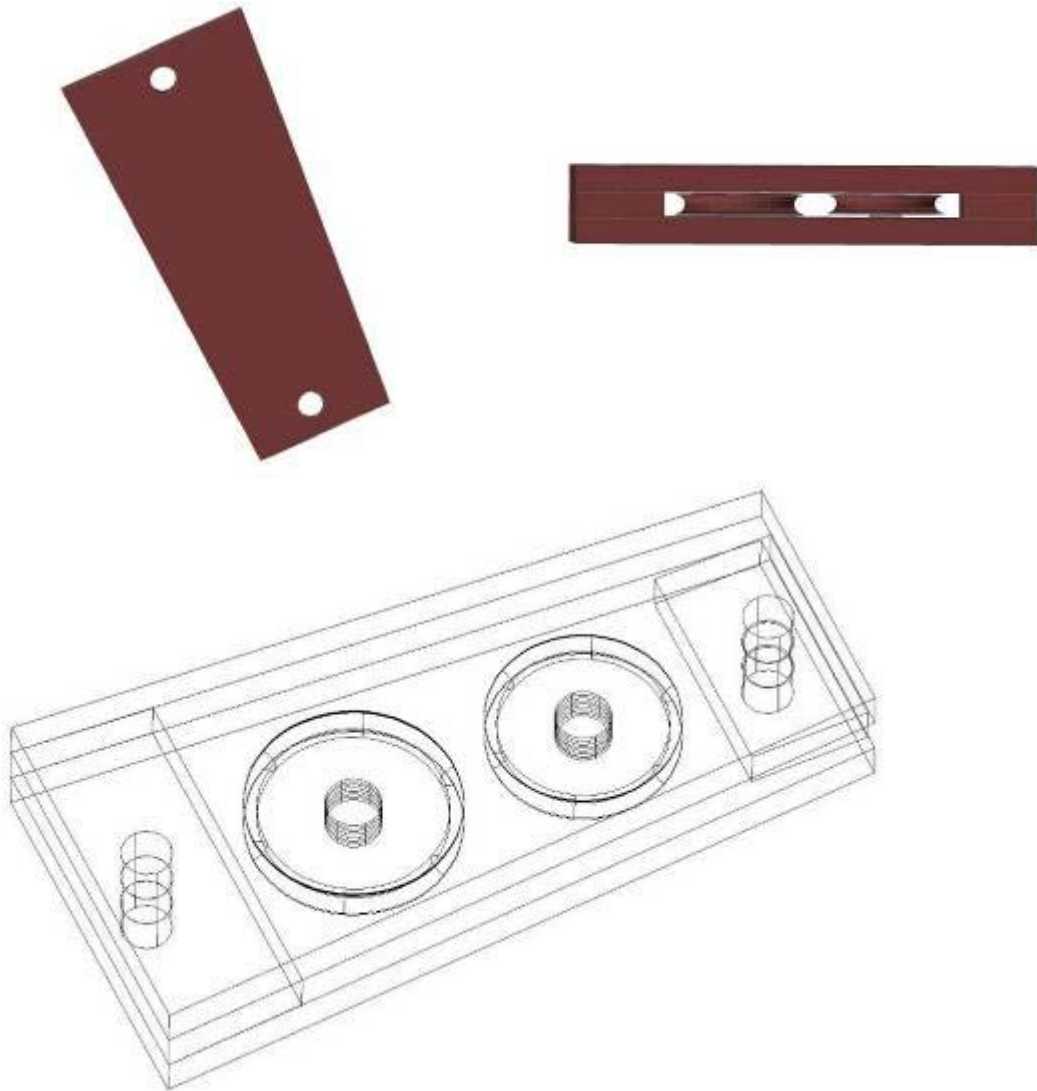


La verga cuenta con cuatro sistemas de poleas con las características mencionadas, dos en ambos extremos y otros dos a mitad de recorrido entre el extremo de la verga y su unión con el mástil, es decir, dos para los amantillos y dos para los medioamantillos.



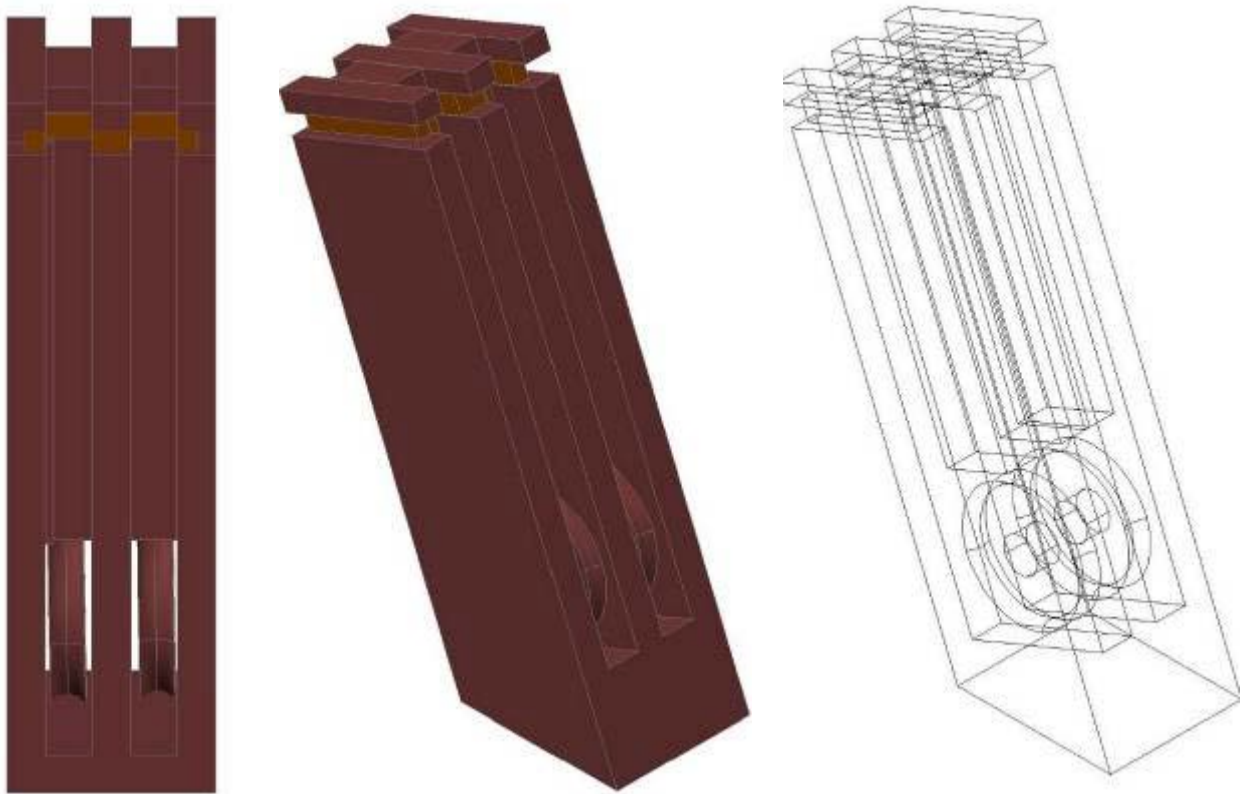
- **Polipastos o poleas compuestas.** Los sistemas de poleas se pueden unir bajo un mismo armazón formando una estructura única aunque compleja. En la Nao, contamos con un sistema formado por dos polipastos que se encargan del tiro de la verga a través de las *drizas*.

Polipasto 1. Está compuesto de dos poleas alineadas verticalmente. A él van atadas las dos *drizas* que, tras pasar por una polea sencilla en lo alto del mástil, tiran de la verga por su parte central.



Polipasto 2. Está compuesto por dos poleas alineadas horizontalmente. Está este polipasto fijado al casco y por sus dos poleas pasa la jarcia que viene de las dos poleas del polipasto anterior. El sistema de polipastos (polipasto 1 + polipasto 2) actúa como un doble sistema de poleas siendo las poleas móviles las del polipasto 1 y las dos poleas fijas las del polipasto 2. El movimiento se produce al desplazarse el polipasto 1, que como hemos dicho está compuesto por dos poleas móviles, hacia el polipasto 2 que está fijado al casco.

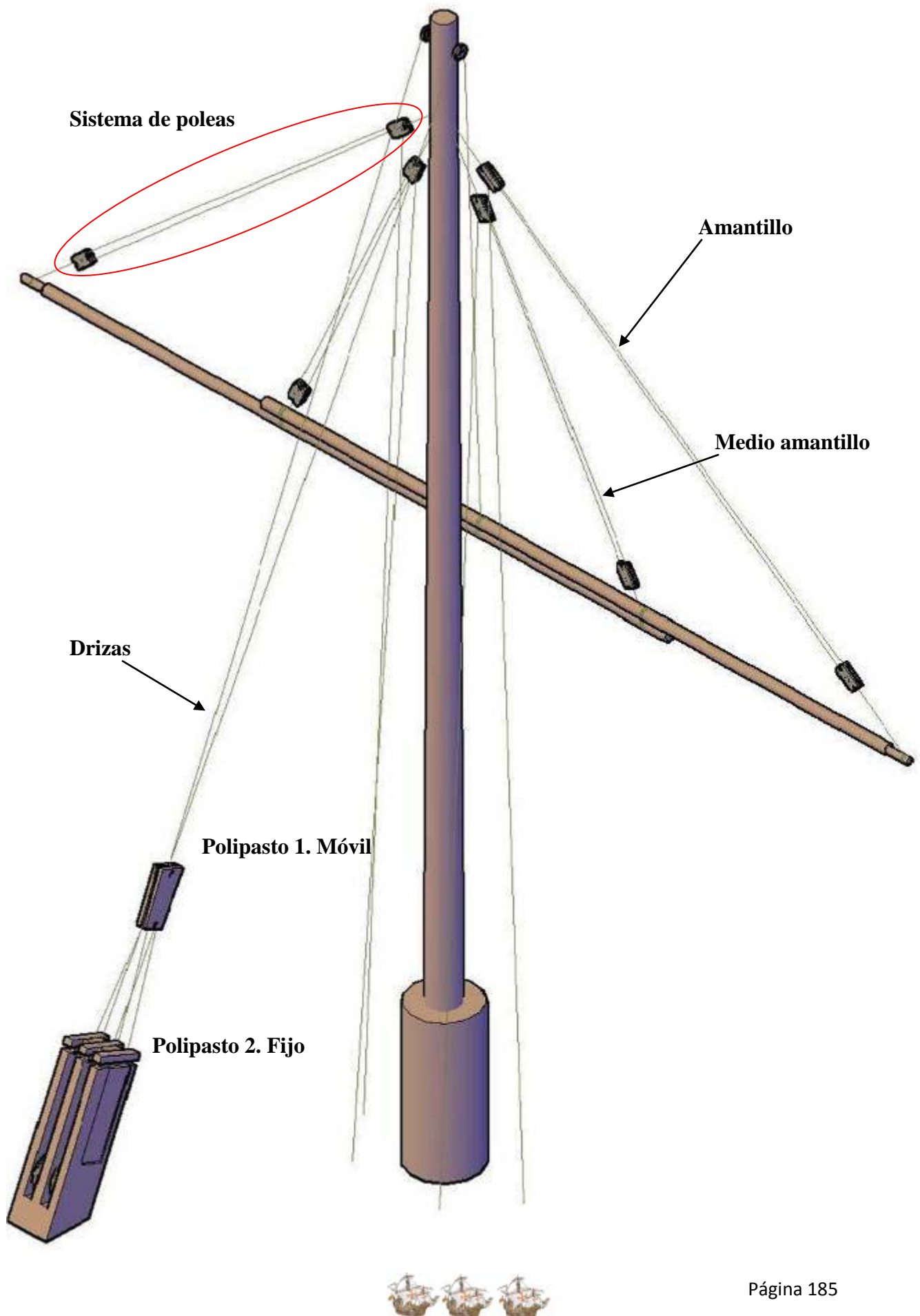




5.3.1.3. Composición del sistema mecánico

En la siguiente imagen se puede apreciar la asociación completa de los diferentes eslabones y mecanismos asociados a la labor de izado de verga del palo mayor.





5.3.2- Sistema mecánico de equilibrado de mástiles.

Nos centraremos de nuevo en el caso del mástil central o “palo mayor” de la Nao para describir el sistema mediante el cual se afianza éste al casco de la nave. El sistema mecánico estará compuesto por los siguientes eslabones y mecanismos:

5.3.2.1 Eslabones

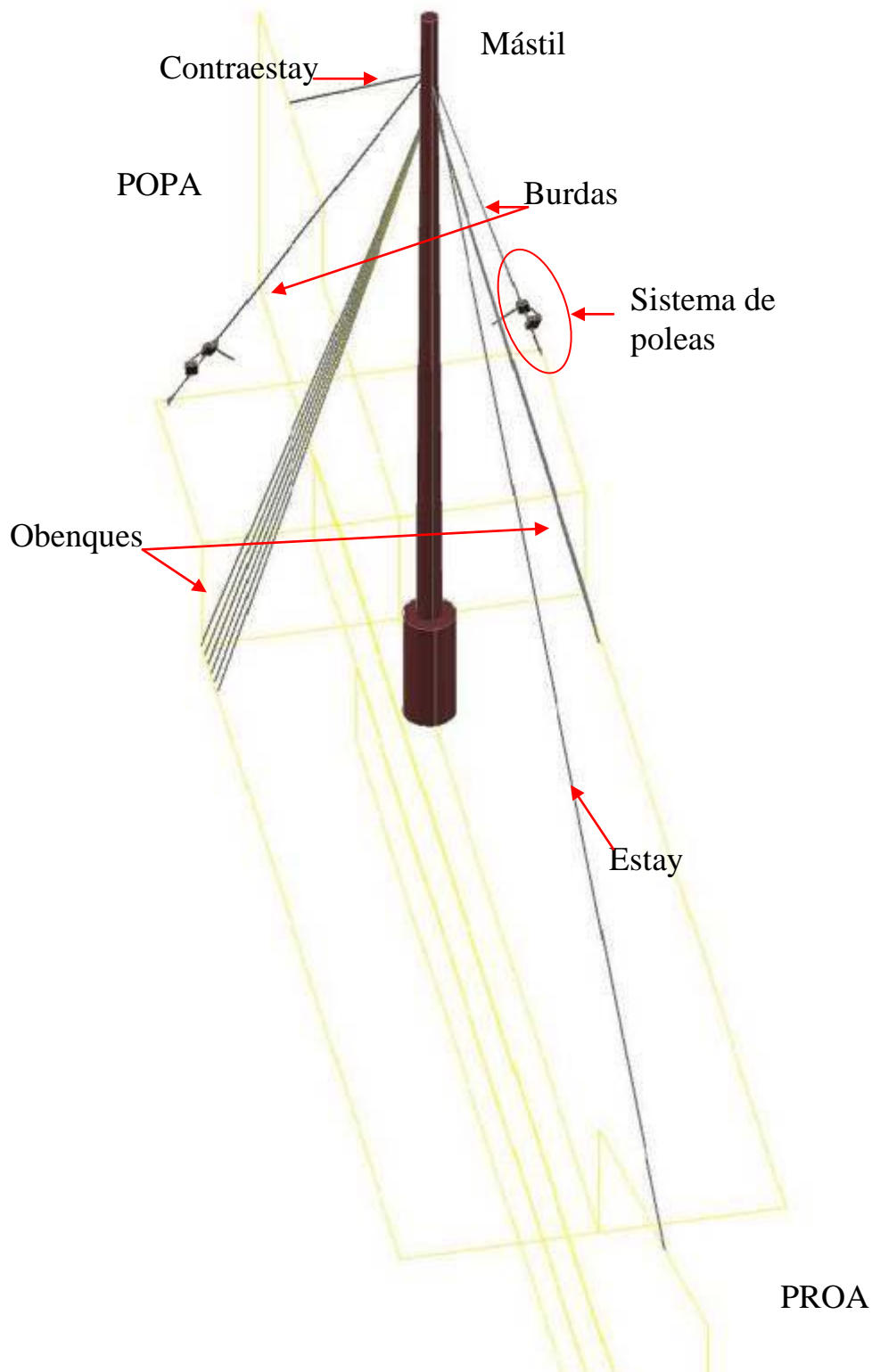
- **Eslabón Mástil Central o Palo Mayor.**
- **Eslabones Jarcias.** Ahora las jarcias son las anteriormente nombradas como jarcias firmes, siendo a su vez de varios tipos.
 - El *estay* va desde el extremo del mástil bajo la cofa, hasta proa.
 - El *contraestay* va desde el extremo del mástil bajo la cofa, hasta popa.
 - Los *obenques* formaran dos grupos de seis e irán atados a babor y a estribor mediante las *vigotas*.
 - Las *burdas* son dos atadas a babor y a estribor mediante un sistema de poleas.

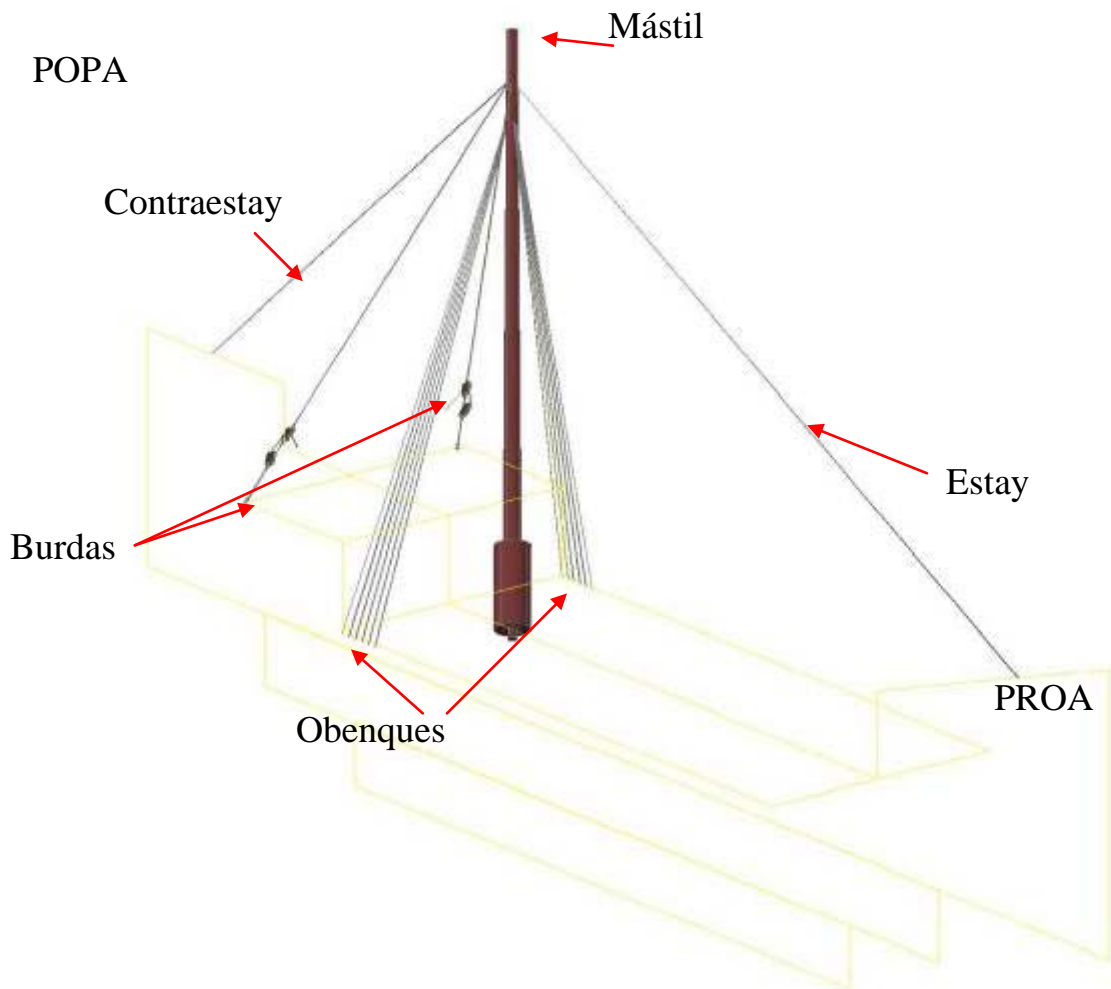
5.3.2.2 Mecanismos.

- **Sistema de poleas de burdas.** Este sistema de poleas es usado para tensionar el mástil del lado contrario al que sopla el viento y por tanto, del lado contrario a la fuerza ejercida por las velas.



5.3.2.3 Composición del sistema mecánico En la siguiente imagen se puede apreciar la asociación completa de los diferentes eslabones y mecanismos empleados en la labor de equilibrio del Palo Mayor.





5.3.3- Sistema mecánico de orientación de vergas.

Otra composición mecánica, en este caso formada sólo por eslabones, es la encargada de orientar la verga haciéndola girar en torno al mástil. De esta forma se consigue que las velas estén más o menos perpendiculares a la dirección del viento. Los componentes o eslabones son:

5.3.3.1 Eslabones.

- **El mástil.** En este caso el Palo Mayor de la Nao
- **Las jarcias.** En este caso componen el sistema cuatro jarcias llamadas *brazas* unidas a los extremos de la verga. Se ataban después con cabillas a los costados de babor y estribor.

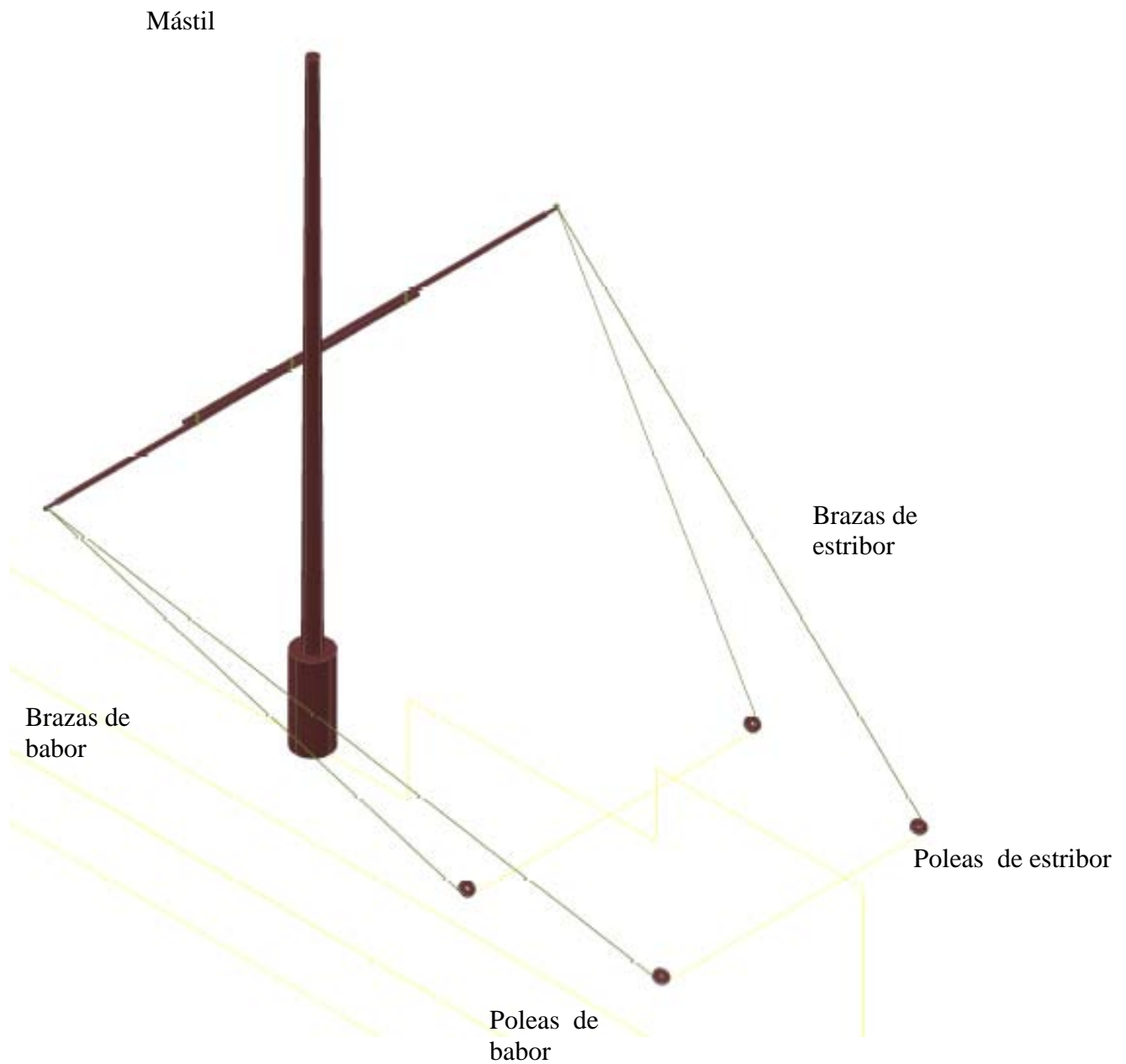
5.3.3.2. Mecanismos

Mecanismo polea. Son poleas sencillas usadas para direccionar el paso de las jarcias y provocar las tensiones que hacen rotar la verga. Cuenta el sistema con cuatro poleas, dos a babor y dos a estribor.

5.3.3.3 Composición del sistema mecánico. En las siguientes imágenes se puede apreciar la composición de los diferentes eslabones de este sistema mecánico.

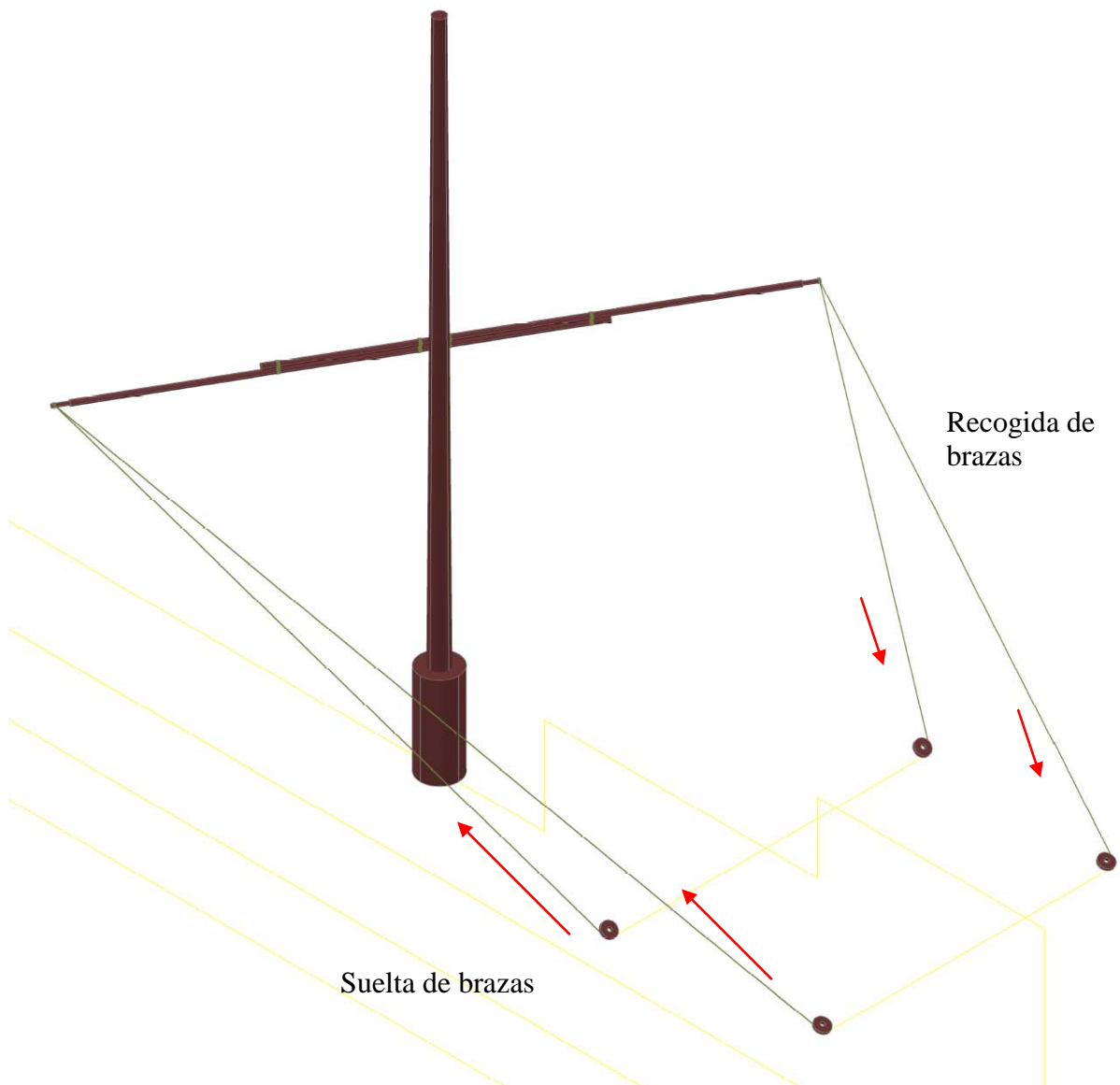


Verga perpendicular al casco



Verga 30° a estribor

Giro de 30°

5.3.4- Sistema mecánico de elevación de cargas.

Cuando no era suficiente con la ventaja mecánica ofrecida por los mecanismos basados en poleas y jarcias únicamente, se hacía uso del sistema mecánico de elevación de cargas. Esto sucedía debido principalmente al peso de algunas cargas a subir a bordo o al levantamiento del ancla. Constaba de los siguientes eslabones y mecanismos:

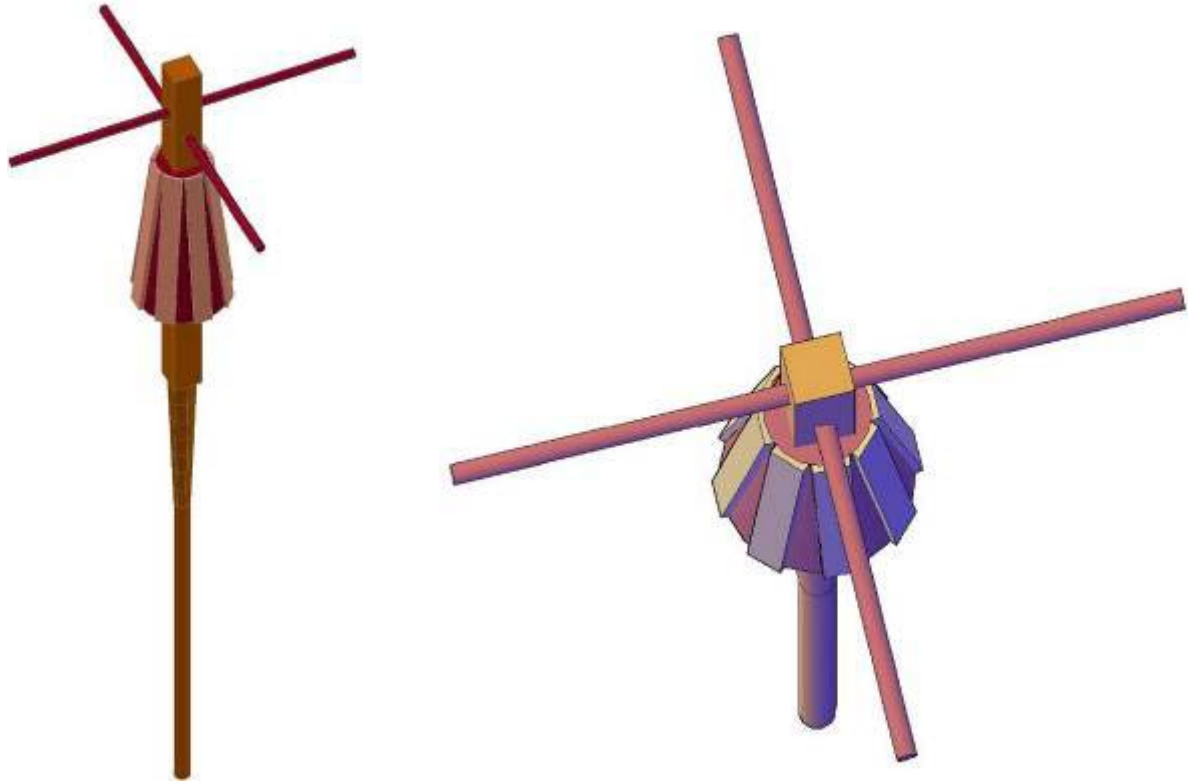
5.3.4.1 Eslabones.

- **Eslabón jarcias.** Las jarcias usadas podían ser para levantar la verga (amantillos), el ancla, o cargas pesadas subidas a bordo como por ejemplo el material de lastre.

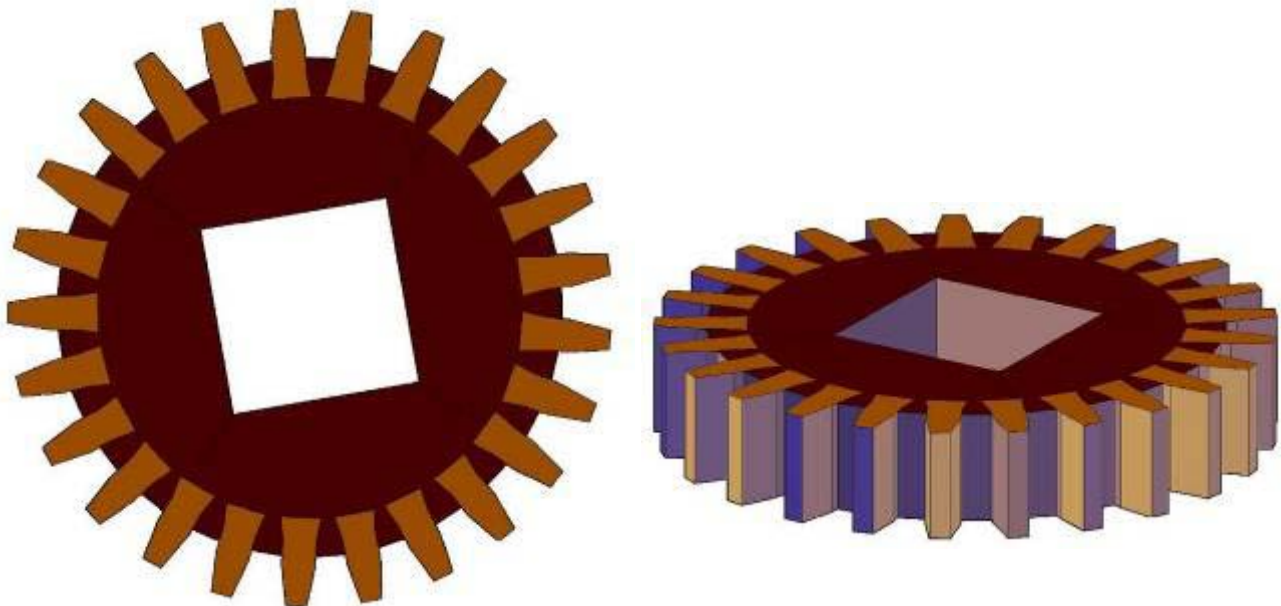


5.3.4.2 Mecanismos.

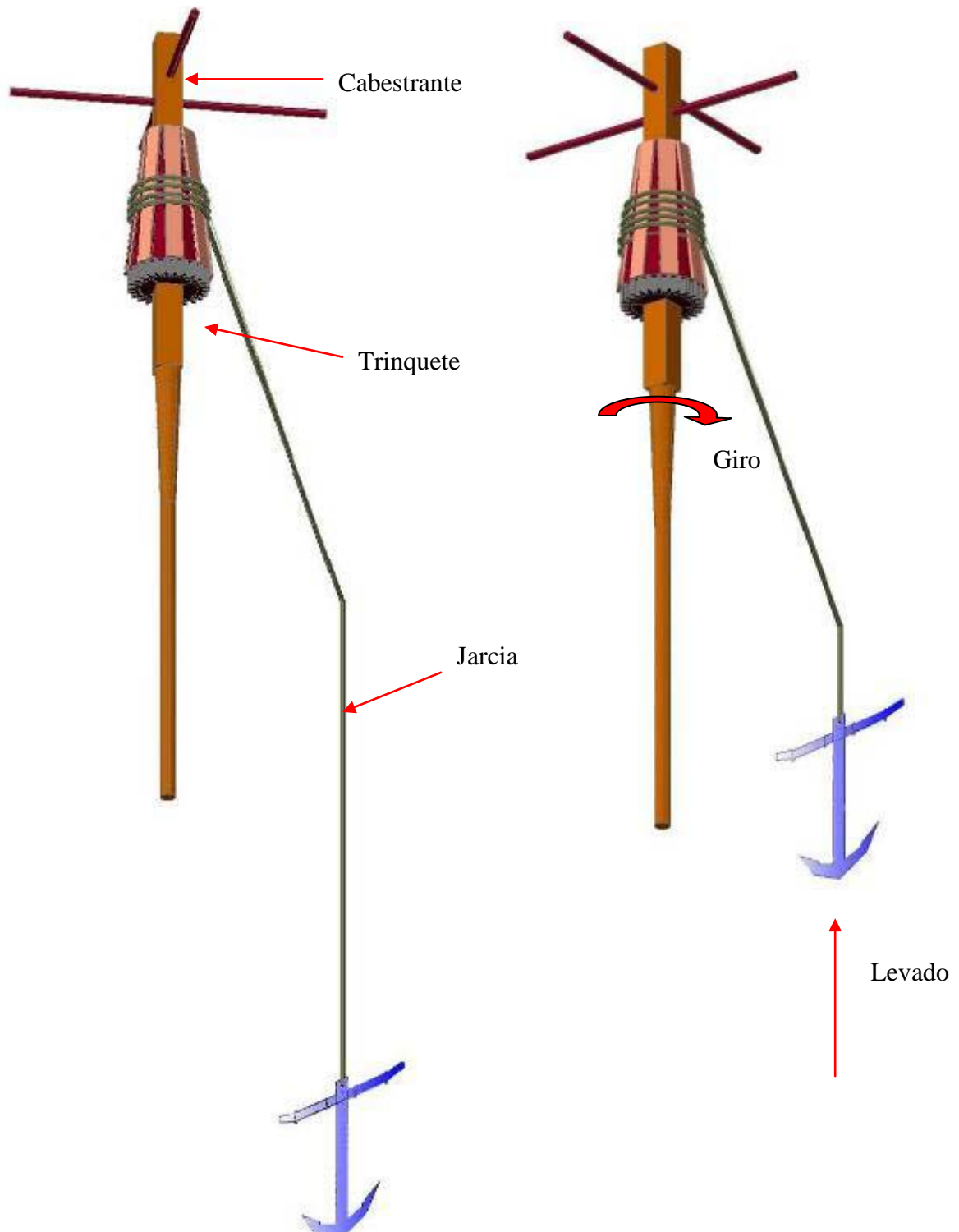
- **Mecanismo Cabestrante:** sobre el se enrolla la jarcia de la que tiran las cargas a subir.



- **Mecanismo trinquete.** Situado justo debajo del anterior, como sabemos, el trinquete impide el giro en el sentido no deseado. Esto se consigue también gracias al sistema de retención. El trinquete del palo mayor de la Nao constaba de 25 dientes.



5.3.4.3 Composición del sistema mecánico. En la siguiente imagen se puede apreciar la composición de los diferentes eslabones y mecanismos de este sistema mecánico en la labor de levado de ancla.



5.3.5- Sistema mecánico de alineación de velas y vergas.

Los marinos de la Nao se servían de este sistema mecánico para alinear las velas y conseguir que esta gozara de su mejor disposición con respecto al viento. Este sistema mecánico estaba compuesto de los siguientes eslabones y mecanismos.

5.3.5.1 Eslabones.

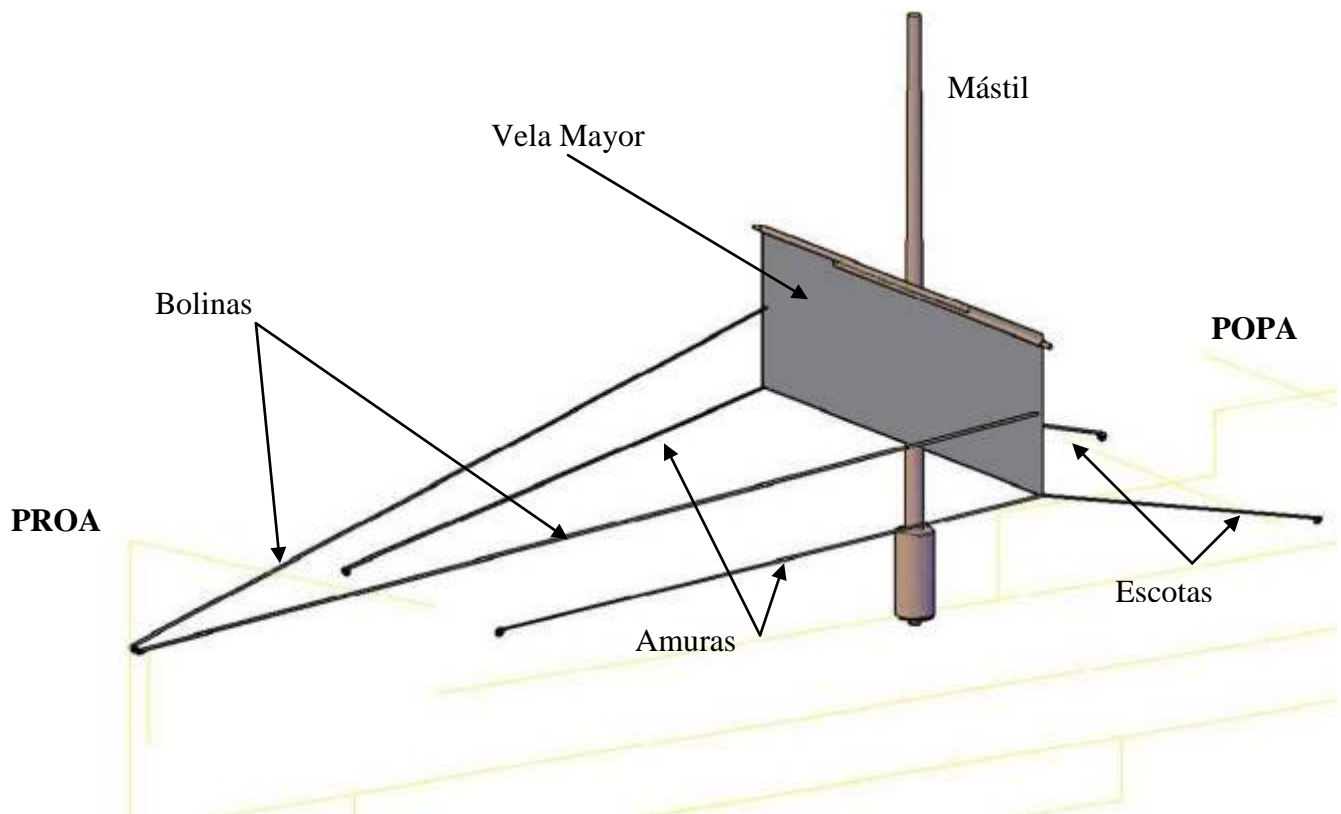
- **Eslabón mástil.** En este caso el Palo Mayor de la Nao.
- **Eslabones jarcias.** En este caso componen el sistema 5 jarcias distintas:
 - dos jarcias llamadas *escotas*, que van desde los extremos de la vela a dos poleas fijas a babor y estribor en popa.
 - otras dos jarcias llamadas *amuras*, que hacen lo propio hasta popa.
 - dos jarcias llamadas *bolinas* que tensan la vela por sus laterales de babor y estribor, hacia dos poleas en punta de proa.
- **Eslabón vela.** En este caso estudiaremos el caso de la vela mayor también llamada *papahigo*.

5.3.5.2 Mecanismos

- **Mecanismos poleas.** Se trata de seis poleas sencillas fijas que sirven para tirar o soltar los cuatro extremos de las dos amuras y los dos escotas, más los dos extremos de las dos bolinas.

5.3.5.3 Composición del sistema mecánico. En las siguientes imágenes se puede apreciar la composición



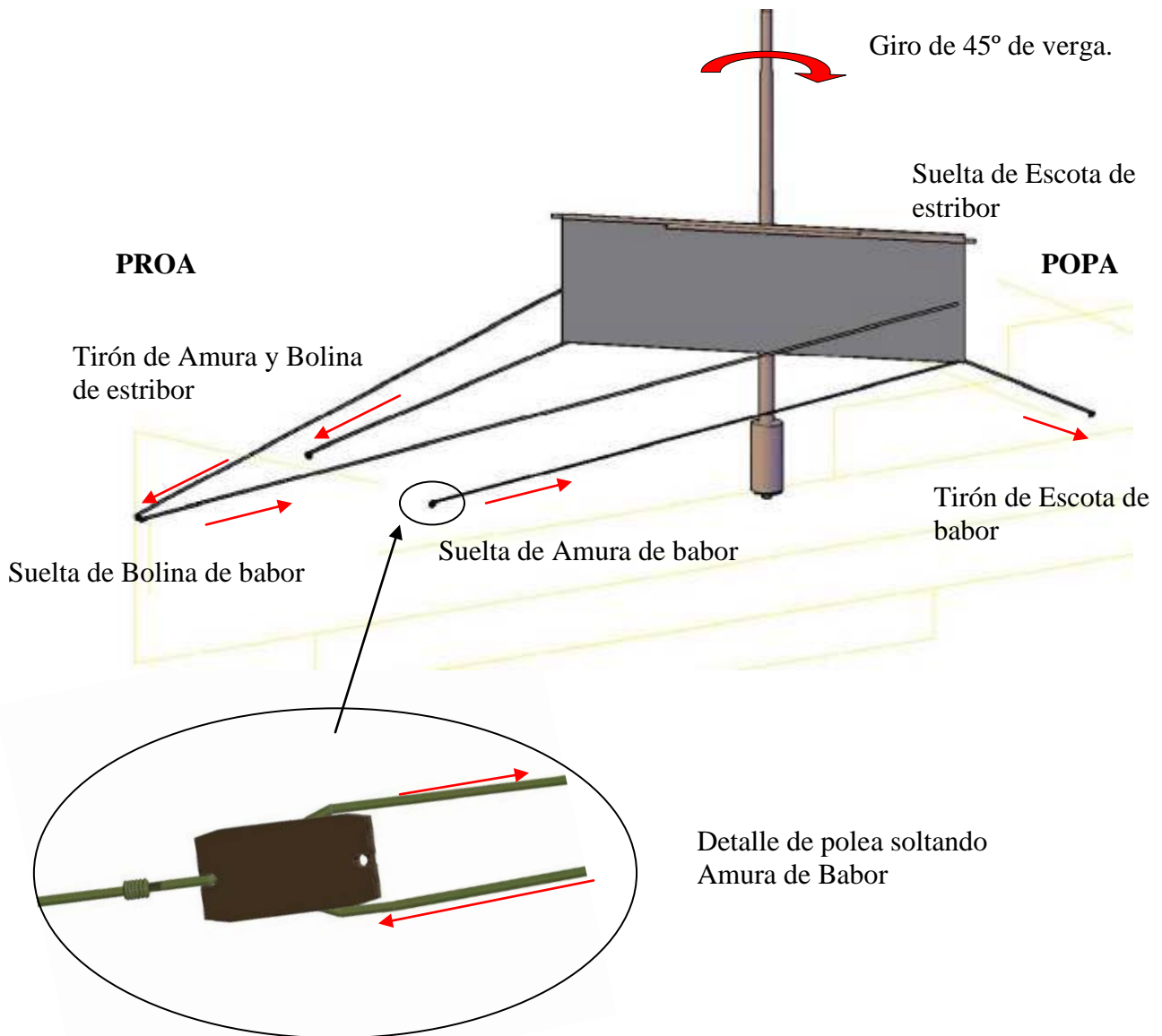


Tomando como ejemplo un giro de la verga de 45° a babor, la maniobra sería la siguiente:

1. se destensan amuras, escotas y bolinas.
2. se procede al giro de la verga mediante el sistema mecánico correspondiente.
3. se tira de amura y bolina de estribor y de escota de babor hasta alinear correctamente la vela.
4. a la vez se suelta de amura y bolina de babor y de escota de estribor.

La figura siguiente representa el giro mencionado.

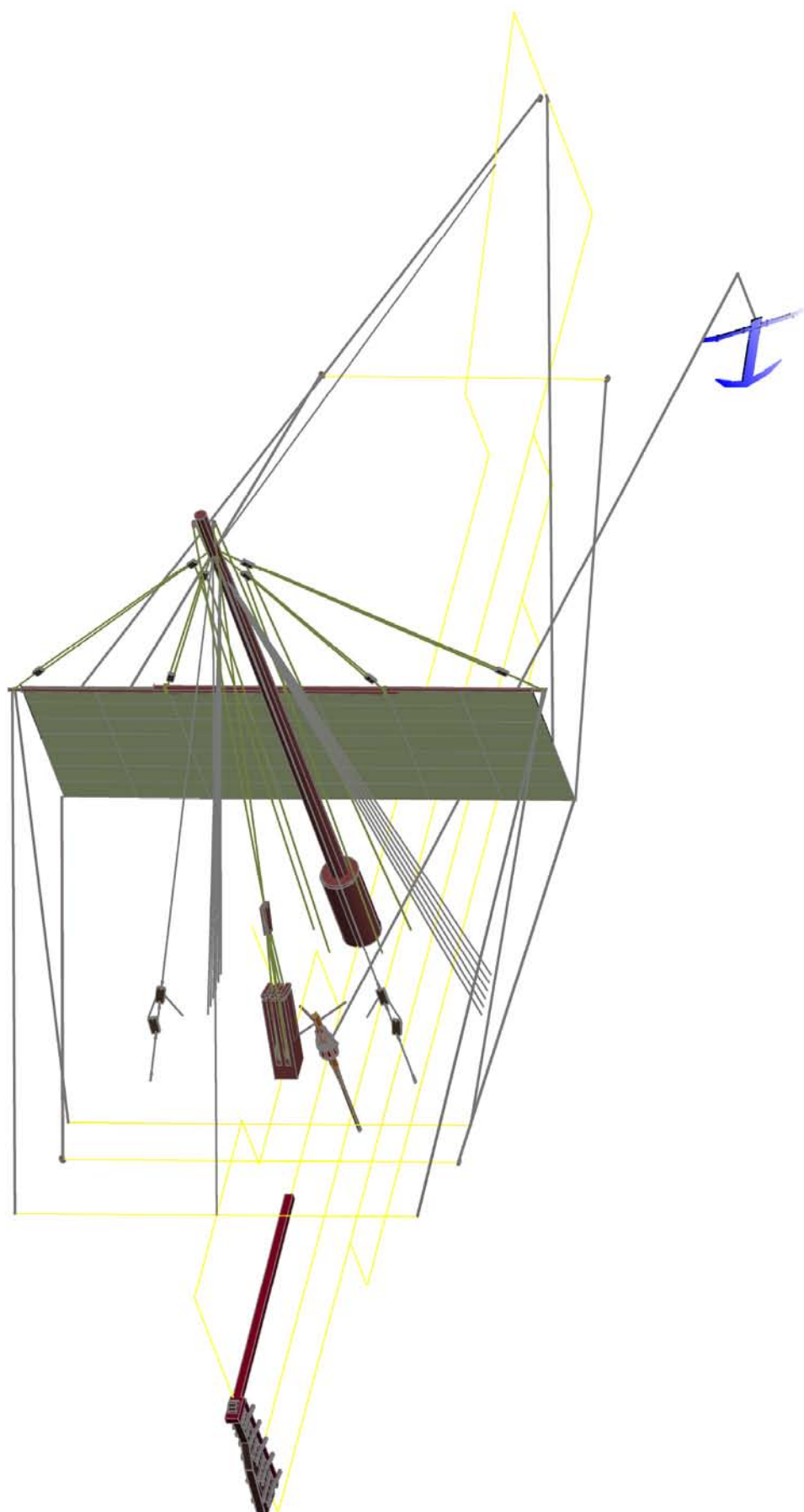




5.4.- Conjunto de sistemas mecánicos.

En las siguientes imágenes se puede observar la distribución en conjunto de los sistemas mecánicos estudiados.







5.5.- Modelado computacional.

Para una mejor comprensión y visualización de los sistemas mecánicos, se ha llevado a cabo el modelado mediante computadora de varios ejemplos estudiados en el apartado 5.3; para ello se ha empleado el programa Working Model en su versión 2D, de la empresa MSC Software Corp.

Working Model es una herramienta de CAE que permite crear simulaciones de sistemas mecánicos reales, que permiten reducir el tiempo de creación de un producto, mejorando la calidad final y optimizando los cálculos. Es una herramienta adoptada por miles de ingenieros profesionales para crear y analizar los sistemas mecánicos reales.

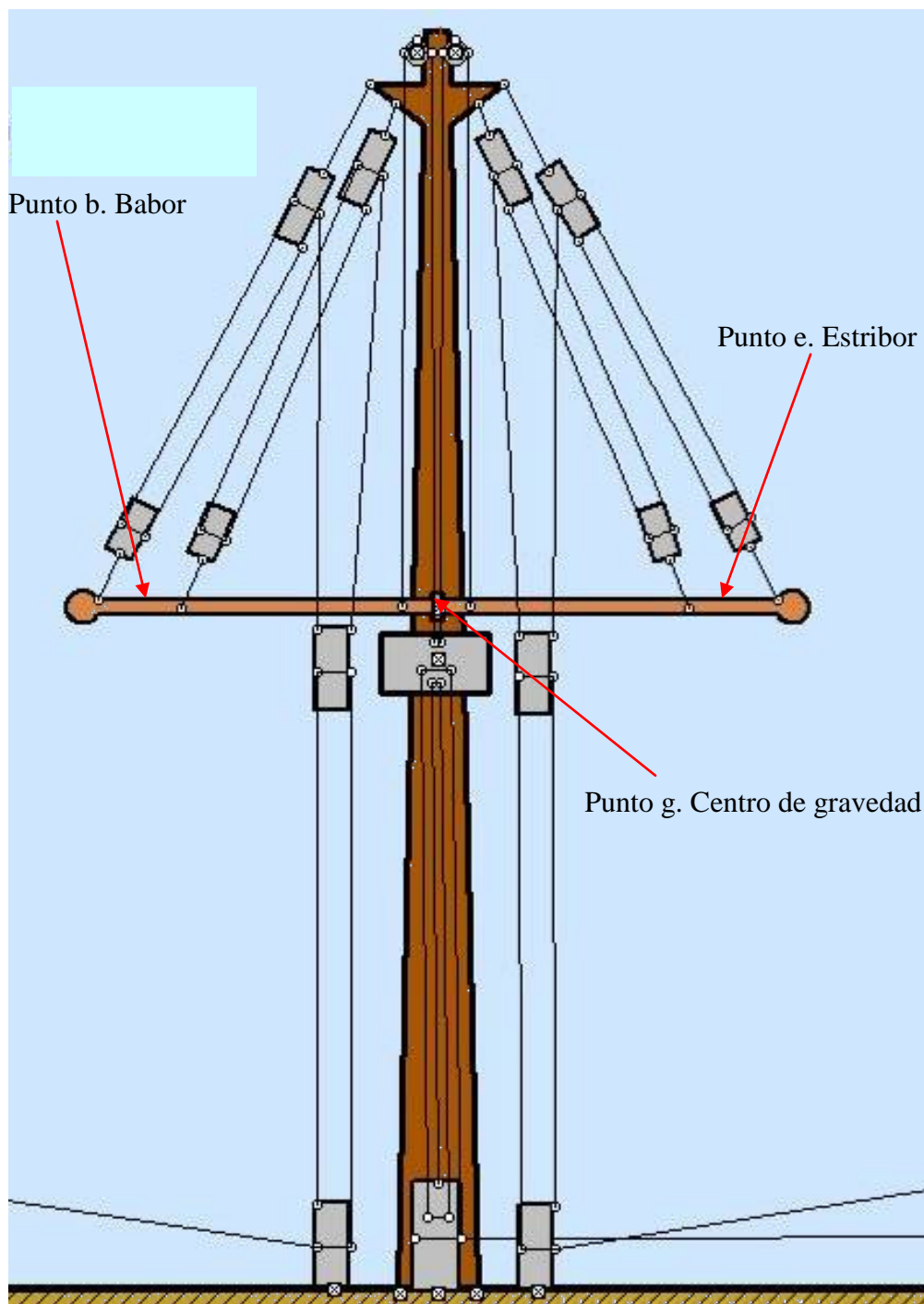
Con él se han estudiado los casos de apartado 5.3, obteniendo para estos movimientos datos sobre las fuerzas y tensiones empleadas así como de las aceleraciones y las velocidades conseguidas.

Todo esto nos ayuda a comprender lo factible de estos sistemas mecánicos en cuanto a movimiento, choque de sólidos, fricción y trabajo a emplear.

5.5.1 Modelado en Working Model de sistema de izado de vergas.

Aquí se puede observar como resultarían los diferentes eslabones y mecanismos que componen el sistema mecánico, al ser modelados con esta herramienta con 3 puntos de tiro.



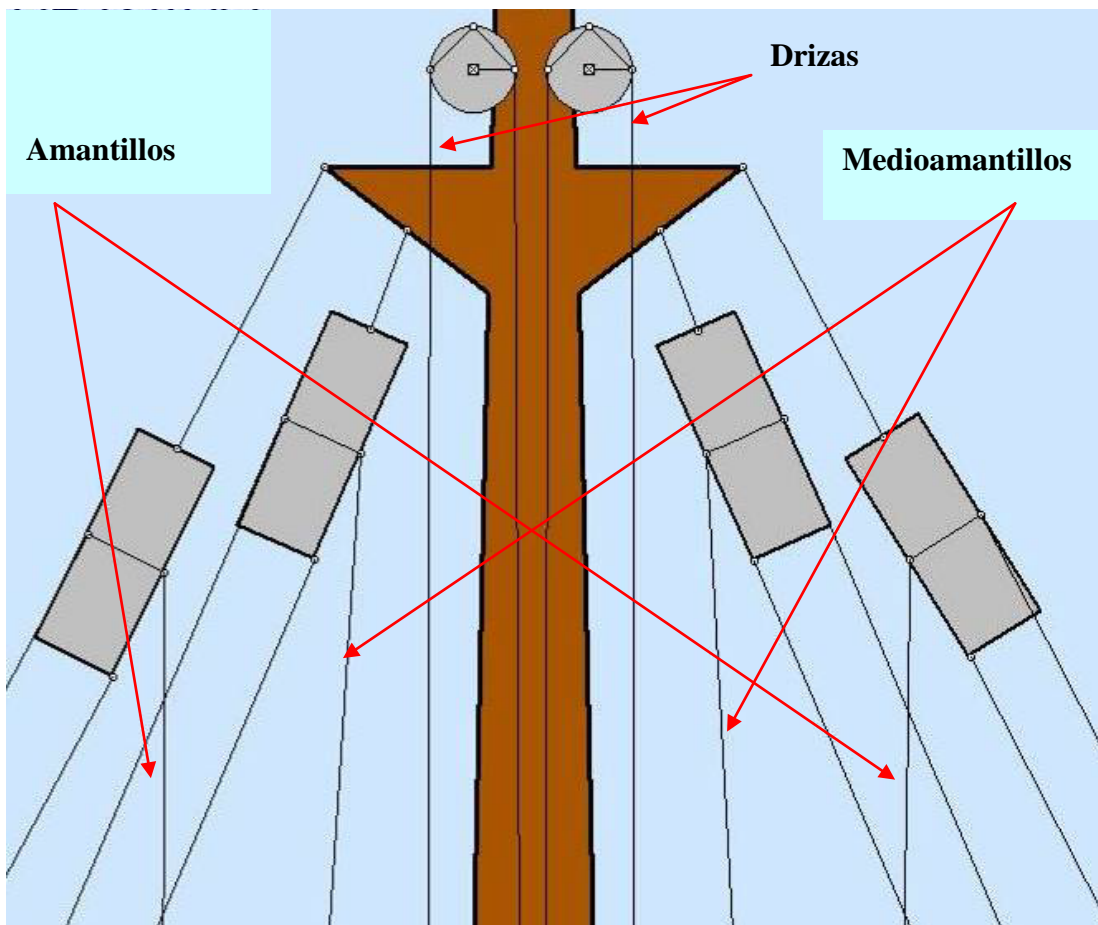


Detalle parte superior del mástil.

En este detalle podemos ver las poleas fijas en la parte superior del mástil que, como sabemos, corresponden a las siguientes jarcias:

- Amantillos, las dos exteriores.
- Medioamantillos, las dos entre amantillos y drizas.
- Drizas, las dos centrales en lo alto del mástil.





Propiedades mecánicas de los elementos del sistema.

El programa nos da facilidades para simular condiciones lo mas cercano posible a la realidad del mecanismo, buscando esto introducimos valores para las componentes dinámicas tales como la aceleración de la gravedad o las propiedades de los sólidos a mover , como la masa, el material, la densidad etc.



Propiedades

* Body[2] - Verga

Verga

x 340.21 m

y 155.34 m

\emptyset 0.00 rad

Vx 0.00 m/s

Vy 0.00 m/s

V \emptyset 0.00 rad/s

material A la medida

masa 600.00 kg

frc. estát 0.20

frc. cinét 0.20

elasticid. 0.50

carga 0.00 C

densidad 2.50 kg/m²

A la medida

momento 0.00 kg-m²

PROPIEDADES

x → Coordenada de la Posición Horizontal del Cuerpo (en el área de trabajo)

y → Coordenada de la Posición Vertical del Cuerpo (en el área de trabajo)

@ → Posición Angular

Vx → Velocidad Horizontal del Cuerpo

Vy → Velocidad Vertical del Cuerpo

V@ → Velocidad Angular del Cuerpo

Material del Cuerpo

Masa del Cuerpo

Coeficiente de Fricción Estático

Coeficiente de Fricción Cinemático

Coeficiente de Elasticidad del Material

Carga Eléctrica del Material

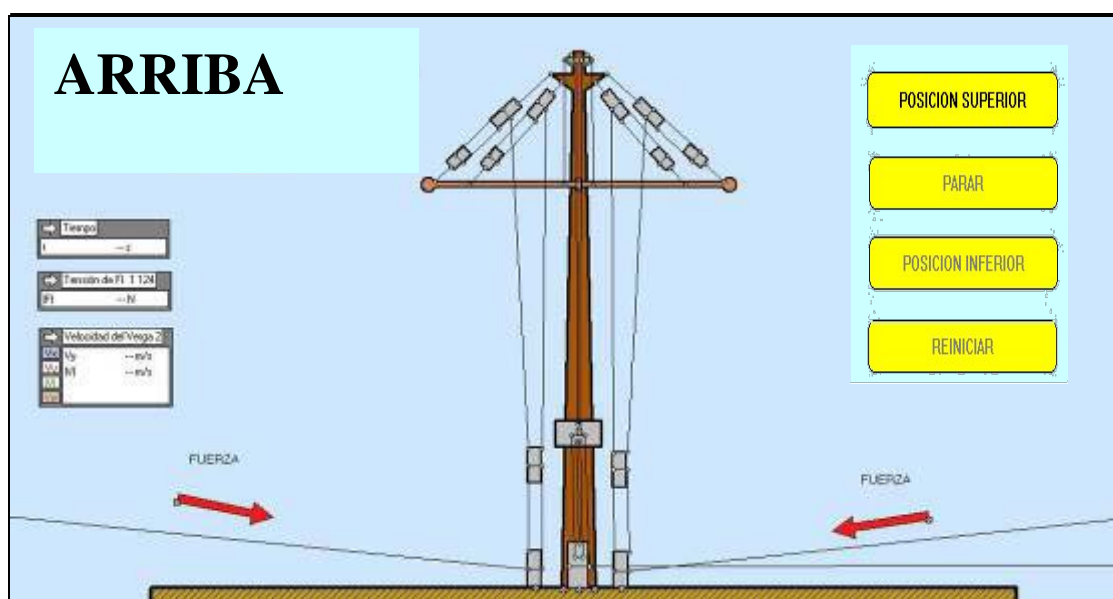
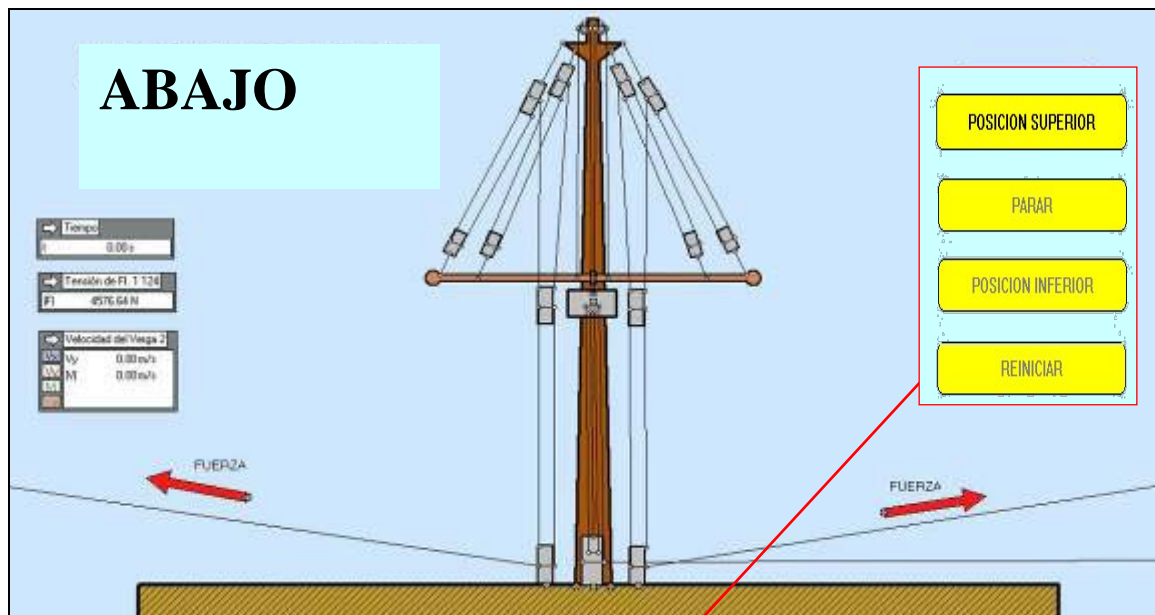
Densidad del Material

Momento Angular

Movimiento

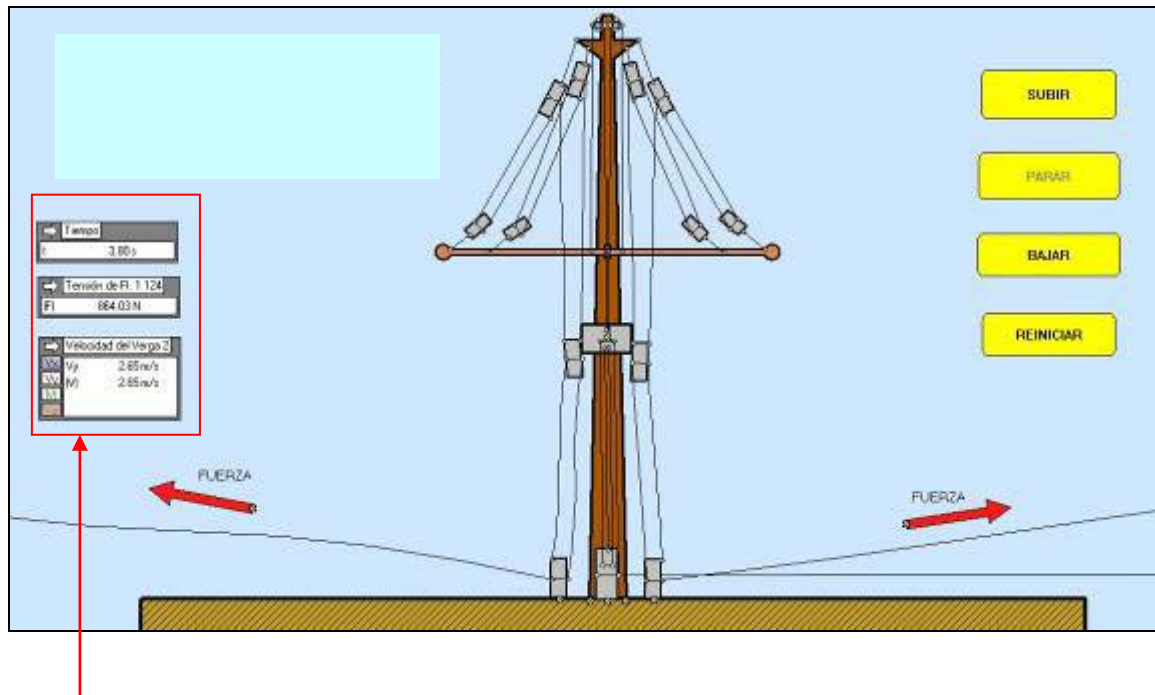
Podemos gobernar el mecanismo, esto es, hacerlo subir, parar o bajar, observando todos los datos que el sistema y el programa nos ofrecen.





Valores en tiempo real.

Tenemos la opción también, de observar en tiempo real y conforme al movimiento del mecanismo valores como la posición, los esfuerzos, el tiempo, etc.

Mediciones obtenidas.

Las siguientes tablas muestran las mediciones de fuerza, velocidad y aceleración de la verga en su centro de gravedad (g), en su parte de babor (b) y en su parte de estribor (e), en un intervalo de tiempo de 0.2 segundos.



VELOCIDADES

v b

v e

v g

t	v				t	v				t	v
0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.00	-	-	-	0.00	0.00
0.20	1.14	-	-	-	0.20	1.25	-	-	-	0.20	1.19
0.40	0.45	-	-	-	0.40	0.91	-	-	-	0.40	0.68
0.60	0.35	-	-	-	0.60	0.26	-	-	-	0.60	0.31
0.80	0.56	-	-	-	0.80	0.24	-	-	-	0.80	0.40
1.00	0.51	-	-	-	1.00	1.09	-	-	-	1.00	0.80
1.20	0.77	-	-	-	1.20	1.44	-	-	-	1.20	1.10
1.40	1.15	-	-	-	1.40	1.36	-	-	-	1.40	1.25
1.60	1.19	-	-	-	1.60	1.08	-	-	-	1.60	1.14
1.80	0.70	-	-	-	1.80	0.39	-	-	-	1.80	0.55
2.00	0.17	-	-	-	2.00	0.05	-	-	-	2.00	0.06
2.20	0.24	-	-	-	2.20	0.27	-	-	-	2.20	0.26
2.40	0.19	-	-	-	2.40	0.08	-	-	-	2.40	0.14
2.60	0.78	-	-	-	2.60	0.17	-	-	-	2.60	0.47
2.80	0.80	-	-	-	2.80	0.22	-	-	-	2.80	0.51
3.00	0.83	-	-	-	3.00	0.71	-	-	-	3.00	0.77
3.20	0.57	-	-	-	3.20	0.85	-	-	-	3.20	0.71
3.40	0.67	-	-	-	3.40	0.70	-	-	-	3.40	0.68
3.60	0.63	-	-	-	3.60	0.64	-	-	-	3.60	0.64
3.80	0.55	-	-	-	3.80	0.64	-	-	-	3.80	0.59
4.00	0.56	-	-	-	4.00	0.57	-	-	-	4.00	0.56
4.20	0.37	-	-	-	4.20	0.76	-	-	-	4.20	0.57
4.40	0.63	-	-	-	4.40	0.66	-	-	-	4.40	0.64
4.60	0.68	-	-	-	4.60	0.53	-	-	-	4.60	0.61
4.80	0.63	-	-	-	4.80	0.53	-	-	-	4.80	0.58
5.00	0.63	-	-	-	5.00	0.91	-	-	-	5.00	0.77
5.20	0.74	-	-	-	5.20	0.71	-	-	-	5.20	0.72
5.40	0.96	-	-	-	5.40	0.28	-	-	-	5.40	0.62
5.60	0.69	-	-	-	5.60	0.47	-	-	-	5.60	0.58
5.80	0.46	-	-	-	5.80	0.87	-	-	-	5.80	0.66
6.00	0.63	-	-	-	6.00	0.63	-	-	-	6.00	0.63
6.20	0.65	-	-	-	6.20	0.64	-	-	-	6.20	0.64
6.40	0.61	-	-	-	6.40	0.59	-	-	-	6.40	0.60
6.60	0.39	-	-	-	6.60	0.88	-	-	-	6.60	0.63
6.80	0.55	-	-	-	6.80	0.66	-	-	-	6.80	0.60
7.00	0.86	-	-	-	7.00	0.25	-	-	-	7.00	0.56
7.20	0.77	-	-	-	7.20	0.70	-	-	-	7.20	0.74
7.40	0.67	-	-	-	7.40	0.72	-	-	-	7.40	0.70
7.60	0.65	-	-	-	7.60	0.66	-	-	-	7.60	0.66
7.80	0.61	-	-	-	7.80	0.61	-	-	-	7.80	0.61
8.00	0.57	-	-	-	8.00	0.57	-	-	-	8.00	0.57
8.20	0.59	-	-	-	8.20	0.69	-	-	-	8.20	0.64
8.40	0.64	-	-	-	8.40	0.54	-	-	-	8.40	0.59
8.60	0.61	-	-	-	8.60	0.60	-	-	-	8.60	0.61



8.80	0.59	-	-	-	8.80	0.60	-	-	-	8.80	0.59
9.00	0.58	-	-	-	9.00	0.59	-	-	-	9.00	0.59
9.20	0.58	-	-	-	9.20	0.55	-	-	-	9.20	0.57
9.40	0.55	-	-	-	9.40	0.55	-	-	-	9.40	0.55
9.60	0.72	-	-	-	9.60	0.72	-	-	-	9.60	0.72
9.80	0.67	-	-	-	9.80	0.68	-	-	-	9.80	0.68
10.00	0.64	-	-	-	10.00	0.64	-	-	-	10.0	0.64
10.20	0.59	-	-	-	10.20	0.59	-	-	-	10.2	0.59
10.40	0.65	-	-	-	10.40	0.65	-	-	-	10.4	0.65
10.60	0.61	-	-	-	10.60	0.61	-	-	-	10.6	0.61
10.80	0.62	-	-	-	10.80	0.62	-	-	-	10.8	0.62
11.00	0.57	-	-	-	11.00	0.59	-	-	-	11.0	0.58
11.20	0.57	-	-	-	11.20	0.58	-	-	-	11.2	0.57
11.40	0.56	-	-	-	11.40	0.56	-	-	-	11.4	0.56
11.60	0.54	-	-	-	11.60	0.54	-	-	-	11.6	0.54
11.80	0.73	-	-	-	11.80	0.73	-	-	-	11.8	0.73
12.00	0.69	-	-	-	12.00	0.69	-	-	-	12.0	0.69
12.20	0.66	-	-	-	12.20	0.64	-	-	-	12.2	0.65
12.40	0.61	-	-	-	12.40	0.61	-	-	-	12.4	0.61
12.60	0.48	-	-	-	12.60	0.70	-	-	-	12.6	0.59
12.80	0.71	-	-	-	12.80	0.57	-	-	-	12.8	0.64
13.00	0.58	-	-	-	13.00	0.61	-	-	-	13.0	0.60
13.20	0.56	-	-	-	13.20	0.57	-	-	-	13.2	0.56
13.40	0.58	-	-	-	13.40	0.58	-	-	-	13.4	0.58
13.60	0.56	-	-	-	13.60	0.56	-	-	-	13.6	0.56
13.80	0.76	-	-	-	13.80	0.76	-	-	-	13.8	0.76
14.00	0.72	-	-	-	14.00	0.72	-	-	-	14.0	0.72
14.20	0.68	-	-	-	14.20	0.67	-	-	-	14.2	0.67
14.40	0.63	-	-	-	14.40	0.63	-	-	-	14.4	0.63
14.60	0.59	-	-	-	14.60	0.60	-	-	-	14.6	0.59
14.80	0.56	-	-	-	14.80	0.55	-	-	-	14.8	0.55



ACELERACIONES

A e					A g					A b	
t	A				t	A				t	A
0.00	0.95	-	-	-	0.00	1.45	-	-	-	0.00	0.94
0.20	0.33	-	-	-	0.20	0.23	-	-	-	0.20	0.79
0.40	3.35	-	-	-	0.40	1.93	-	-	-	0.40	0.51
0.60	2.76	-	-	-	0.60	2.02	-	-	-	0.60	1.28
0.80	0.07	-	-	-	0.80	0.98	-	-	-	0.80	1.90
1.00	0.80	-	-	-	1.00	0.39	-	-	-	1.00	0.02
1.20	1.91	-	-	-	1.20	0.70	-	-	-	1.20	3.31
1.40	0.59	-	-	-	1.40	0.17	-	-	-	1.40	0.24
1.60	3.94	-	-	-	1.60	2.18	-	-	-	1.60	0.41
1.80	4.06	-	-	-	1.80	3.59	-	-	-	1.80	3.12
2.00	2.43	-	-	-	2.00	2.50	-	-	-	2.00	2.57
2.20	0.40	-	-	-	2.20	1.43	-	-	-	2.20	2.47
2.40	2.25	-	-	-	2.40	0.97	-	-	-	2.40	0.31
2.60	0.39	-	-	-	2.60	0.71	-	-	-	2.60	1.80
2.80	1.21	-	-	-	2.80	0.10	-	-	-	2.80	1.01
3.00	0.82	-	-	-	3.00	0.32	-	-	-	3.00	1.45
3.20	0.42	-	-	-	3.20	0.27	-	-	-	3.20	0.97
3.40	0.59	-	-	-	3.40	0.63	-	-	-	3.40	0.67
3.60	0.16	-	-	-	3.60	0.12	-	-	-	3.60	0.08
3.80	0.25	-	-	-	3.80	0.13	-	-	-	3.80	0.23
4.00	0.14	-	-	-	4.00	0.13	-	-	-	4.00	0.40
4.20	0.06	-	-	-	4.20	0.26	-	-	-	4.20	0.45
4.40	0.66	-	-	-	4.40	0.31	-	-	-	4.40	0.03
4.60	0.72	-	-	-	4.60	0.18	-	-	-	4.60	0.36
4.80	0.71	-	-	-	4.80	0.09	-	-	-	4.80	0.88
5.00	0.43	-	-	-	5.00	0.12	-	-	-	5.00	0.68
5.20	2.32	-	-	-	5.20	0.34	-	-	-	5.20	1.63
5.40	0.44	-	-	-	5.40	0.60	-	-	-	5.40	0.75
5.60	1.66	-	-	-	5.60	0.21	-	-	-	5.60	2.08
5.80	1.09	-	-	-	5.80	0.12	-	-	-	5.80	0.85
6.00	0.52	-	-	-	6.00	0.22	-	-	-	6.00	0.08
6.20	0.15	-	-	-	6.20	0.19	-	-	-	6.20	0.24
6.40	0.07	-	-	-	6.40	0.15	-	-	-	6.40	0.23
6.60	0.88	-	-	-	6.60	0.07	-	-	-	6.60	1.02
6.80	2.46	-	-	-	6.80	0.36	-	-	-	6.80	1.75
7.00	0.04	-	-	-	7.00	0.18	-	-	-	7.00	0.40
7.20	1.28	-	-	-	7.20	0.24	-	-	-	7.20	1.75
7.40	0.44	-	-	-	7.40	0.19	-	-	-	7.40	0.07
7.60	0.23	-	-	-	7.60	0.21	-	-	-	7.60	0.18
7.80	0.22	-	-	-	7.80	0.22	-	-	-	7.80	0.21
8.00	0.29	-	-	-	8.00	0.23	-	-	-	8.00	0.18
8.20	0.37	-	-	-	8.20	0.12	-	-	-	8.20	0.62
8.40	0.81	-	-	-	8.40	0.26	-	-	-	8.40	0.29
8.60	0.03	-	-	-	8.60	0.18	-	-	-	8.60	0.39



8.80	0.17	-	-	-	8.80	0.16	-	-	-	8.80	0.15
9.00	0.13	-	-	-	9.00	0.27	-	-	-	9.00	0.42
9.20	0.37	-	-	-	9.20	0.21	-	-	-	9.20	0.05
9.40	0.14	-	-	-	9.40	0.20	-	-	-	9.40	0.26
9.60	0.22	-	-	-	9.60	0.22	-	-	-	9.60	0.22
9.80	0.23	-	-	-	9.80	0.20	-	-	-	9.80	0.17
10.00	0.21	-	-	-	10.00	0.21	-	-	-	10.0	0.21
10.20	0.22	-	-	-	10.20	0.22	-	-	-	10.2	0.22
10.40	0.22	-	-	-	10.40	0.22	-	-	-	10.4	0.22
10.60	0.20	-	-	-	10.60	0.20	-	-	-	10.6	0.20
10.80	0.19	-	-	-	10.80	0.19	-	-	-	10.8	0.19
11.00	0.03	-	-	-	11.00	0.40	-	-	-	11.0	0.82
11.20	0.26	-	-	-	11.20	0.15	-	-	-	11.2	0.05

FUERZAS.

Fg		Fe		Fb	
t	F	t	F	t	F
0.0	521.3	0.0	386.1	0.0	345.4
0.2	1019.7	0.2	0.0	0.2	0.0
0.4	1004.8	0.4	0.0	0.4	0.0
0.6	987.4	0.6	0.0	0.6	0.0
0.8	976.5	0.8	0.0	0.8	0.0
1.0	789.2	1.0	0.0	1.0	0.0
1.2	0.0	1.2	480.2	1.2	286.2
1.4	0.0	1.4	658.5	1.4	274.1
1.6	0.0	1.6	196.7	1.6	563.0
1.8	0.0	1.8	262.9	1.8	359.7
2.0	0.0	2.0	274.5	2.0	229.4
2.2	936.0	2.2	0.0	2.2	0.0
2.4	653.1	2.4	0.0	2.4	0.0
2.6	493.2	2.6	272.5	2.6	185.7
2.8	817.1	2.8	71.4	2.8	16.5
3.0	0.0	3.0	320.8	3.0	415.0
3.2	209.6	3.2	438.8	3.2	183.7
3.4	920.0	3.4	0.0	3.4	0.0
3.6	838.0	3.6	0.0	3.6	0.0
3.8	710.9	3.8	50.3	3.8	72.3
4.0	715.6	4.0	126.1	4.0	105.7
4.2	638.0	4.2	284.8	4.2	139.8
4.4	568.1	4.4	271.1	4.4	201.8
4.6	690.6	4.6	157.0	4.6	19.5
4.8	692.9	4.8	51.2	4.8	71.2

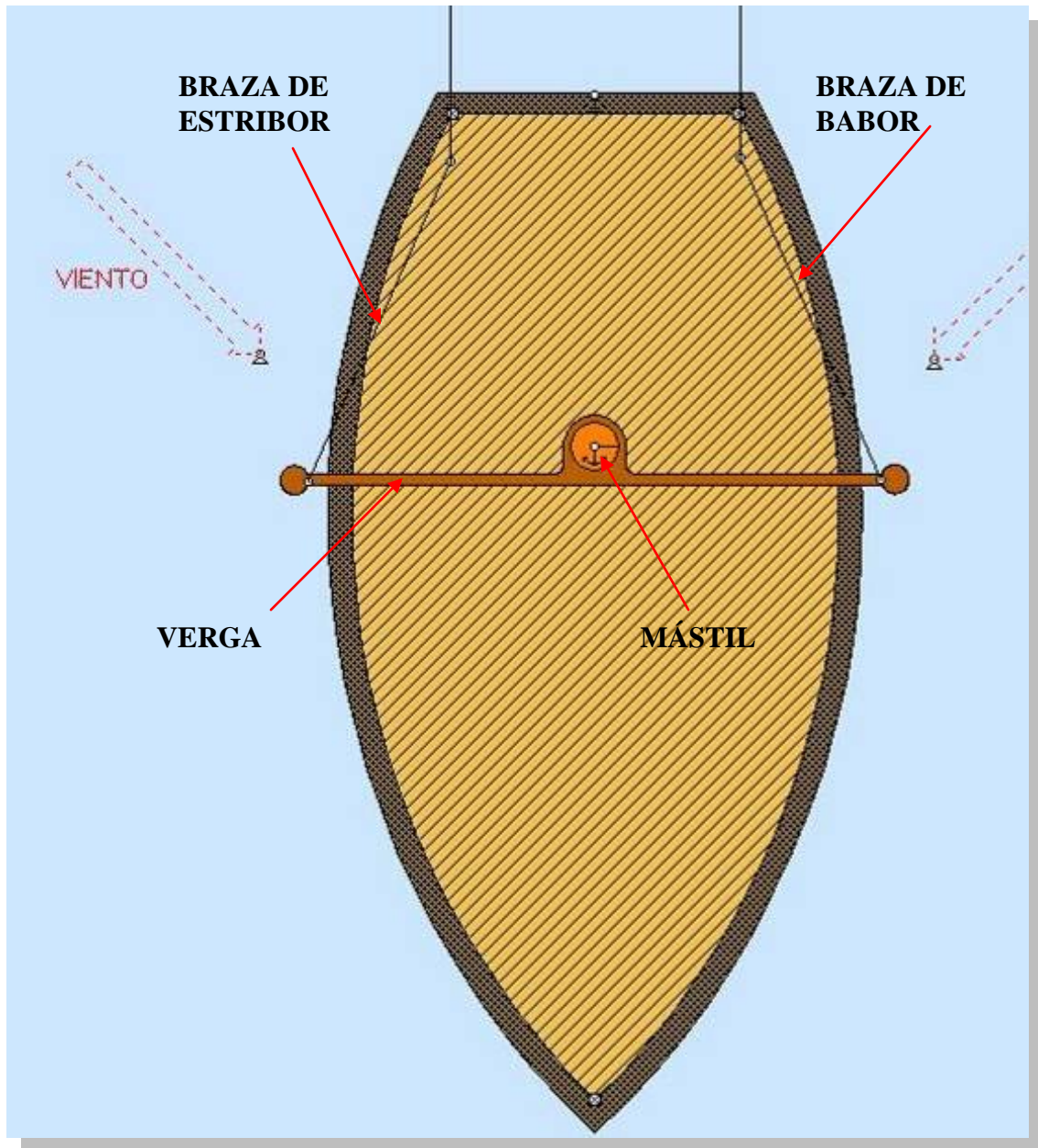


5.0	755.8	5.0	87.2	5.0	173.5
5.2	629.9	5.2	134.0	5.2	63.5
5.4	310.5	5.4	516.2	5.4	110.0
5.6	678.7	5.6	121.7	5.6	135.9
5.8	832.1	5.8	96.8	5.8	79.5
6.0	712.1	6.0	113.7	6.0	69.1
6.2	724.8	6.2	0.0	6.2	0.0
6.4	837.3	6.4	0.0	6.4	0.0
6.6	830.6	6.6	0.0	6.6	0.0
6.8	768.7	6.8	0.0	6.8	0.0
7.0	713.6	7.0	0.0	7.0	0.0
7.2	321.1	7.2	97.9	7.2	74.4
7.4	597.7	7.4	350.2	7.4	246.5
7.6	843.3	7.6	30.1	7.6	14.7
7.8	732.9	7.8	177.5	7.8	69.8
8.0	671.5	8.0	119.2	8.0	159.4
8.2	643.9	8.2	164.8	8.2	135.3
8.4	524.7	8.4	193.7	8.4	163.0
8.6	801.1	8.6	26.0	8.6	10.1
8.8	729.1	8.8	185.6	8.8	236.7
9.0	431.2	9.0	431.1	9.0	227.9
9.2	838.0	9.2	0.0	9.2	0.0
9.4	787.6	9.4	63.1	9.4	56.5
9.6	589.8	9.6	335.4	9.6	223.9
9.8	793.6	9.8	10.1	9.8	33.7
10.0	662.8	10.0	149.8	10.0	186.4
10.2	674.7	10.2	163.2	10.2	104.8
10.4	715.4	10.4	147.5	10.4	182.0
10.8	592.7	10.8	251.1	10.8	155.1
11.2	326.6	11.2	547.8	11.2	768.4
11.6	0.00	11.6	458.7	11.6	199.2
12.0	0.00	12.0	562.4	12.0	282.6
12.4	0.00	12.4	669.5	12.4	82.7
12.8	0.00	12.8	339.8	12.8	727.2
13.2	451.4	13.2	368.7	13.2	235.5
13.6	510.1	13.6	126.7	13.6	406.5
14.0	692.4	14.0	95.7	14.0	294.5
14.4	715.8	14.4	108.9	14.4	308.5



5.5.2 Modelado en Working Model de sistema de orientación de vergas.

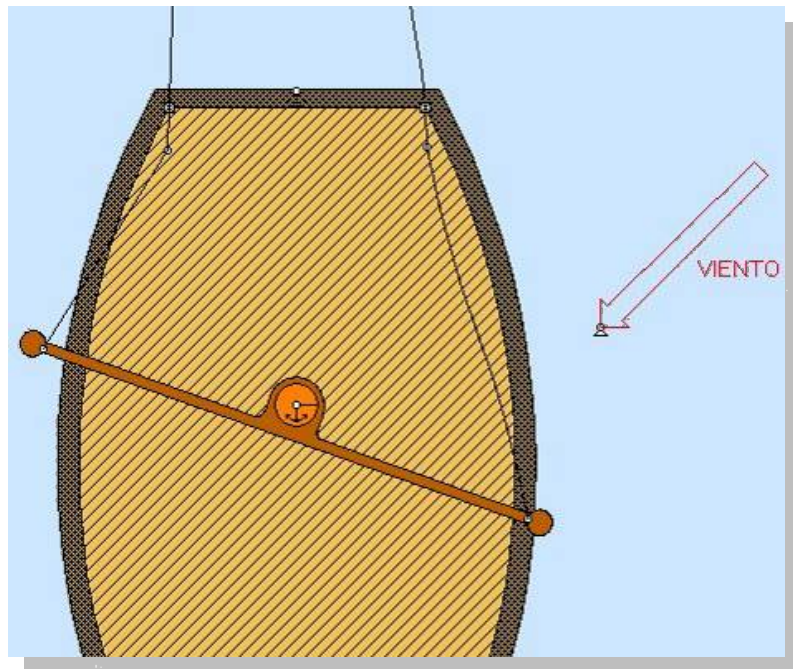
Aquí se puede observar como resultarían los diferentes eslabones y mecanismos que componen el sistema mecánico al ser modelados con esta herramienta informática en 2D.

Orientación según el viento.

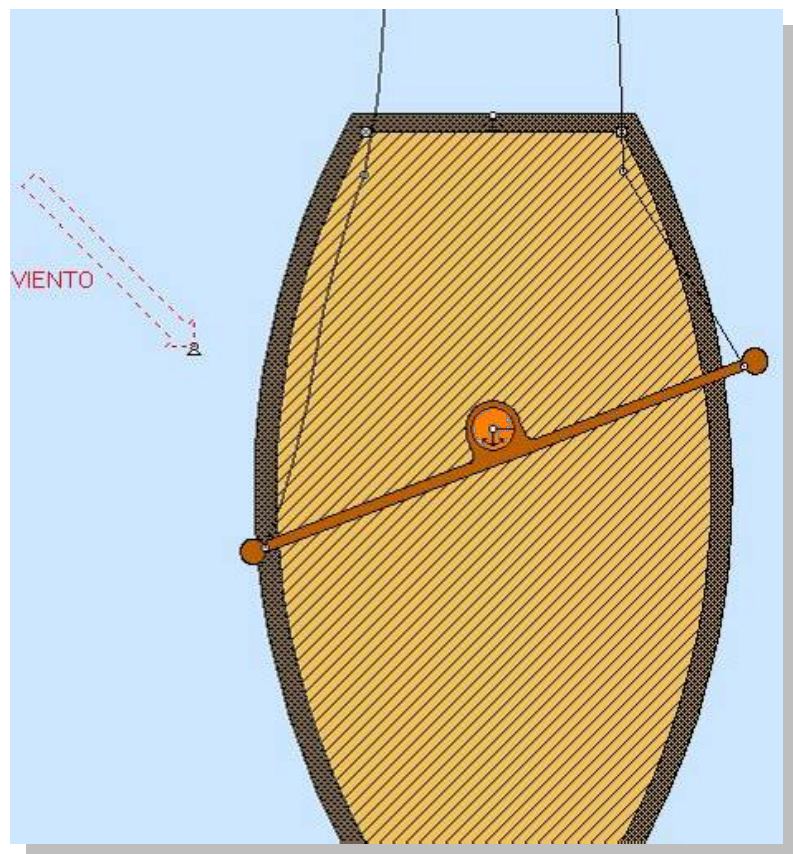
En las siguientes imágenes podemos ver la orientación de la verga con vientos de babor o estribor. Para el caso de viento de babor, se realizaría el trabajo de tiro de braza de estribor y suelta de braza de babor. Para el caso de viento de estribor, se llevaría a cabo el tiro de braza de babor y suelta de braza de estribor.



Viento de babor

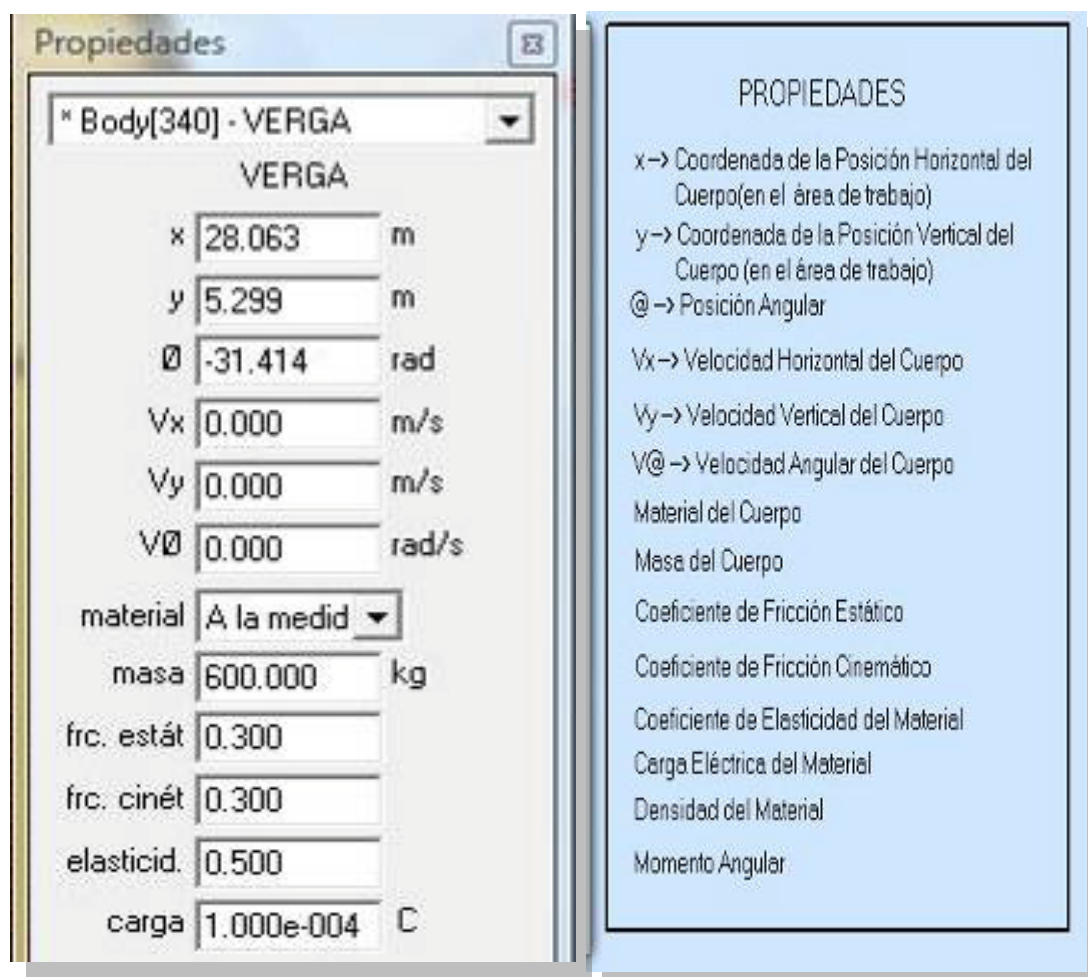
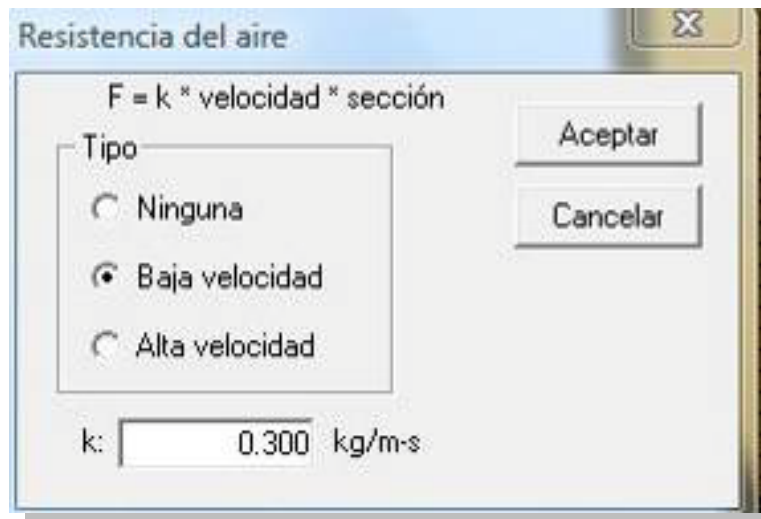


Viento de estribor



Propiedades mecánicas de los elementos del sistema.

Buscando condiciones lo mas cercano posible a la realidad del mecanismo, introducimos valores para las componentes dinámicas como la aceleración de la gravedad o las propiedades de las vergas, como la masa, el material, la densidad; y en este caso las propiedades del aire.

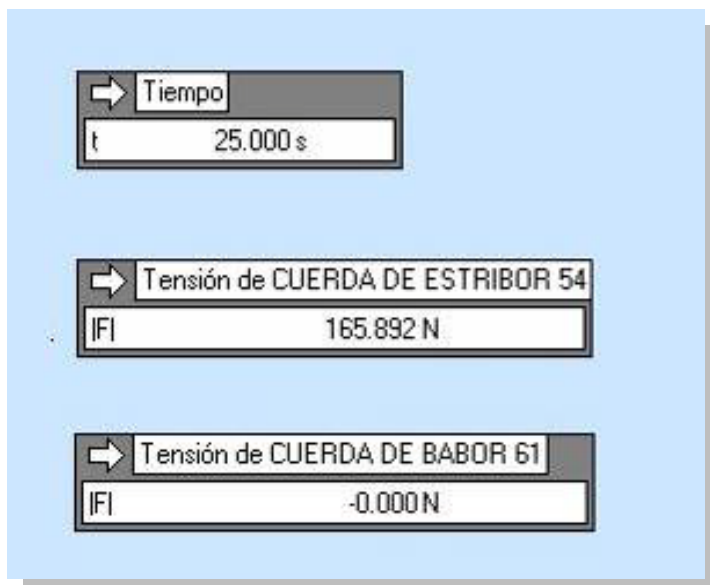


Movimiento

Podemos gobernar el mecanismo haciéndolo rotar, parar o reiniciar, observando todos los datos que el sistema y el programa nos ofrecen.

Valores en tiempo real.

Tenemos la opción también de observar en tiempo real y conforme al movimiento del mecanismo valores como la posición, las tensiones, el tiempo, etc.



Mediciones obtenidas.

La siguiente tabla muestra las mediciones de las tensiones de las dos brazas en un intervalo de tiempo de 0.5 segundos.

TENSIÓN BRAZA DE ESTRIBOR		TENSIÓN BRAZA DE BABOR	
t	F	t	F
0.000	-0.000	0.000	015.292
0.500	-0.000	0.500	028.038
1.000	-0.000	1.000	041.042
1.500	-0.000	1.500	053.770
2.000	-0.000	2.000	066.212
2.500	-0.000	2.500	078.358
3.000	-0.000	3.000	090.202
3.500	-0.000	3.500	101.737
4.000	-0.000	4.000	112.960
4.500	-0.000	4.500	123.868
5.000	-0.000	5.000	134.459
5.500	-0.000	5.500	144.732
6.000	-0.000	6.000	154.688
6.500	-0.000	6.500	164.328
7.000	-0.000	7.000	173.653
7.500	-0.000	7.500	182.666
8.000	-0.000	8.000	191.369
8.500	-0.000	8.500	019.170
9.000	-0.000	9.000	205.601
9.500	-0.000	9.500	185.569
10.00	-0.000	10.00	185.630
10.50	-0.000	10.50	178.497
11.00	-0.000	11.00	169.764
11.50	-0.000	11.50	160.097
12.00	-0.000	12.00	149.906
12.50	-0.000	12.50	139.437
13.00	-0.000	13.00	128.838
13.50	-0.000	13.50	118.011
14.00	-0.000	14.00	106.908
14.50	-0.000	14.50	095.511
15.00	-0.000	15.00	083.811
15.50	-0.000	15.50	071.808
16.00	-0.000	16.00	059.506

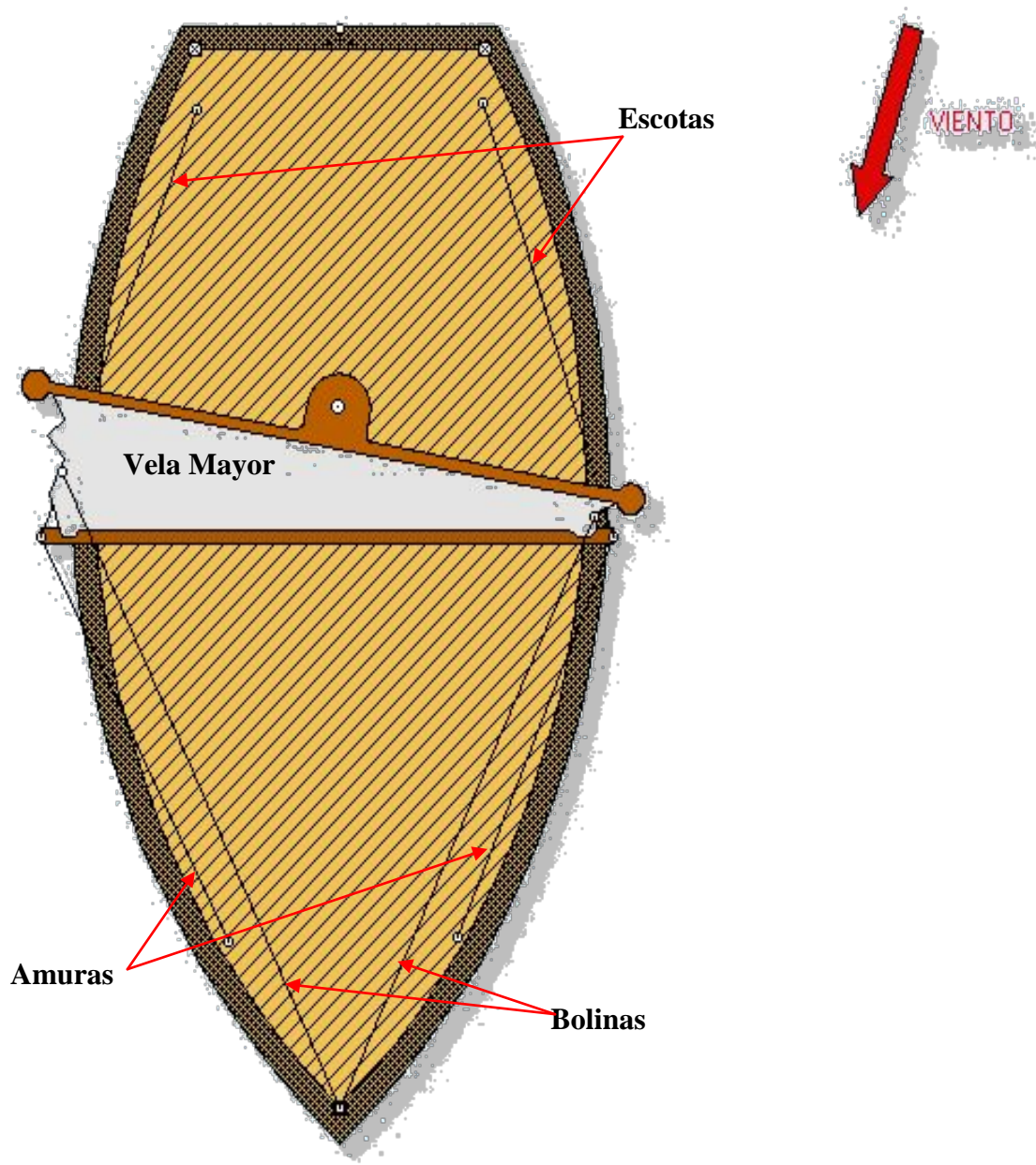


16.50	-0.000	16.50	046.913
17.00	-0.000	17.00	007.524
17.50	-0.000	17.50	004.659
18.00	-0.000	18.00	-0.000
18.50	004.670	18.50	-0.000
19.00	018.199	19.00	-0.000
19.50	031.365	19.50	-0.000
20.00	044.166	20.00	-0.000
20.50	056.620	20.50	-0.000
21.00	068.745	21.00	-0.000
21.50	080.549	21.50	-0.000
22.00	092.034	22.00	-0.000
22.50	103.205	22.50	-0.000
23.00	114.057	23.00	-0.000
23.50	124.587	23.50	-0.000
24.00	134.795	24.00	-0.000
24.50	144.681	24.50	-0.000
25.00	149.326	25.00	-0.000



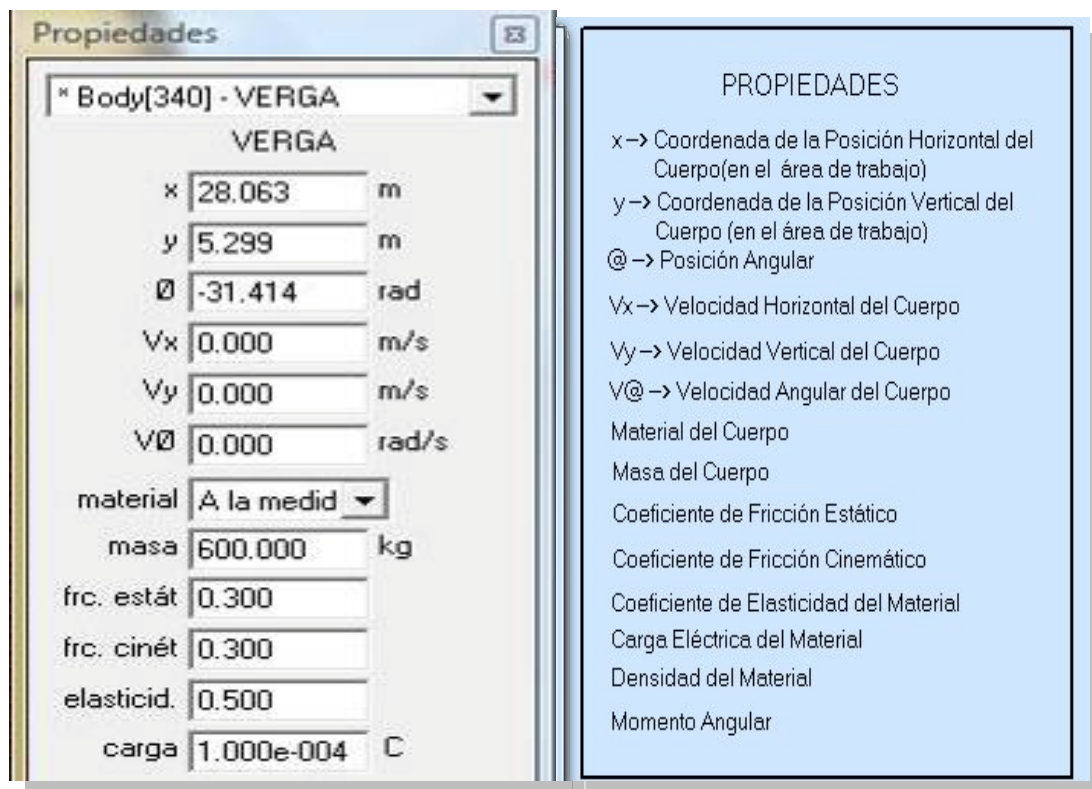
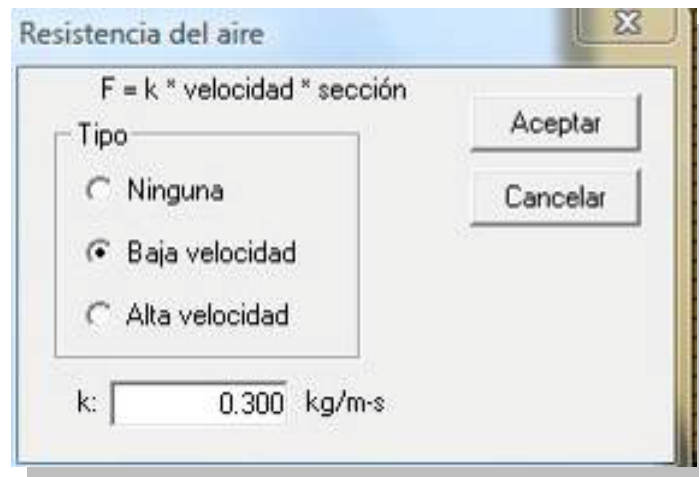
5.5.3 Modelado en Working Model de sistema de alineación de velas.

Aquí se puede observar como resultarían los diferentes eslabones y mecanismos que componen el sistema mecánico de alineación de velas y vergas, para el caso del palo mayor de la Nao, al ser modelados con esta herramienta informática en 2D.



Propiedades mecánicas de los elementos del sistema.

Tratando de simular condiciones fieles a la realidad, volvemos a introducir valores para las componentes dinámicas como la aceleración de la gravedad o las propiedades de las vergas, como la masa, el material, la densidad y las propiedades del aire.

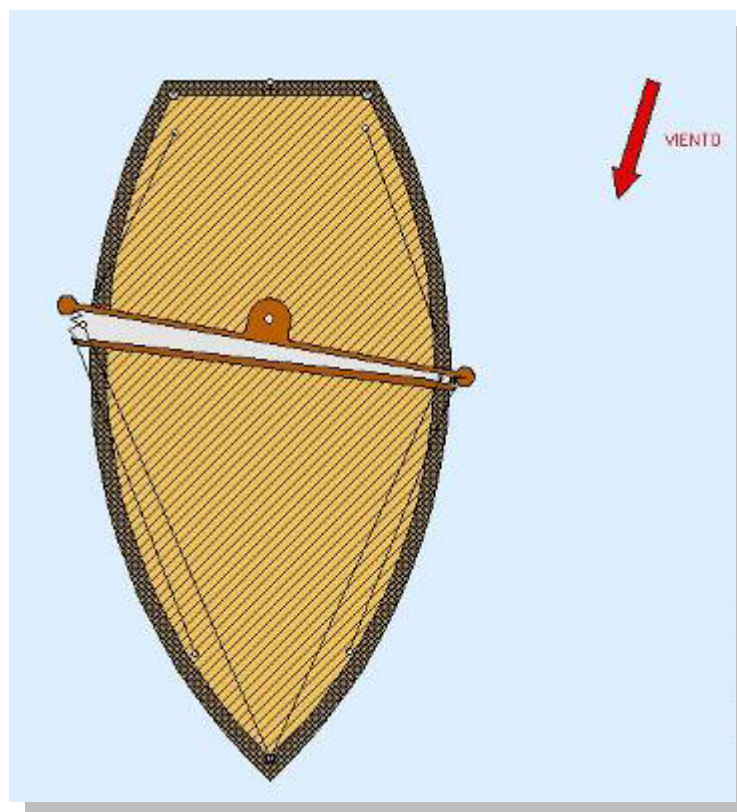


Movimiento

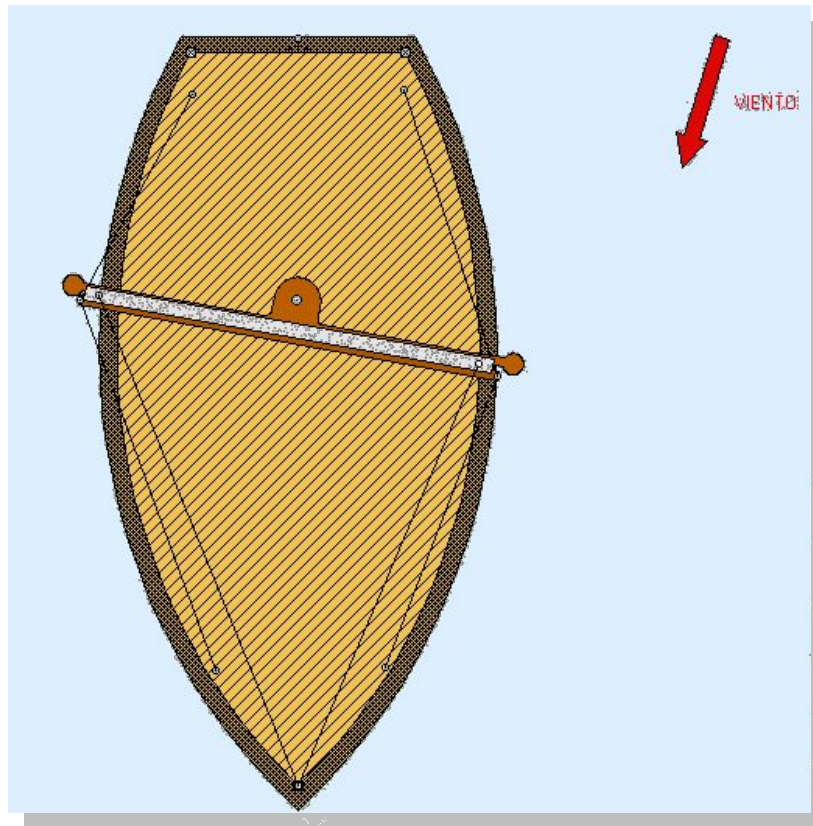
Podemos gobernar el mecanismo alineando las velas, parando o reiniciando; observando todos los datos que el sistema y el programa nos ofrecen.



Proceso de alineación de velas



Vela alineada.

Valores en tiempo real.

Contamos con la opción de observar en tiempo real y conforme al movimiento del mecanismo valores como la posición de la vela, las tensiones de las jarcias, el tiempo, etc.

→

Tiempo

t

s

→

Tensión de CUERDA DE ESTRIBOR

|F|

N

→

Tensión de CUERDA DE BABOR 61

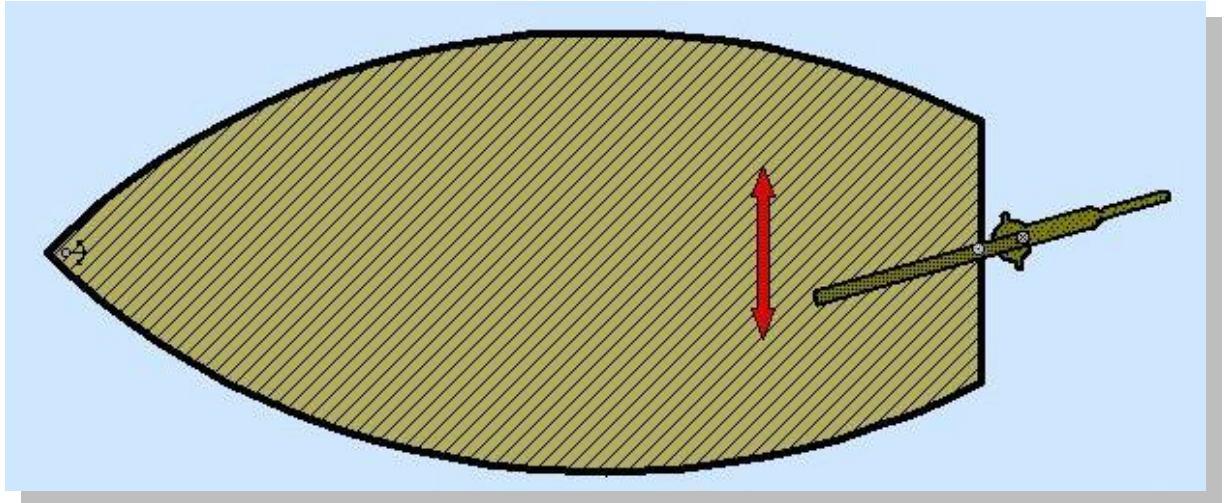
|F|

N



5.5.4 Modelado en Working Model del mecanismo timón.

Aquí se puede observar como resultarían los diferentes eslabones que componen el mecanismo, al ser modelados con esta herramienta informática en 2D.



Propiedades mecánicas de los elementos del sistema.

Esperando simular condiciones lo mas cercano posible a la realidad del mecanismo, introducimos valores para las componentes dinámicas como la aceleración de la gravedad o la resistencia del agua; así como las propiedades del timón, como la masa, el material, la densidad etc.

PERFIL DEL TIMÓN

RESISTENCIA DEL AGUA

Alta Velocidad $\rightarrow F = K \cdot \text{Velocidad}^2 \cdot \text{sección}$

Sección del timón = 1.5 m²

Constante hidrodinámica (K) = 0.7

Velocidad del agua = 8.5 m/s

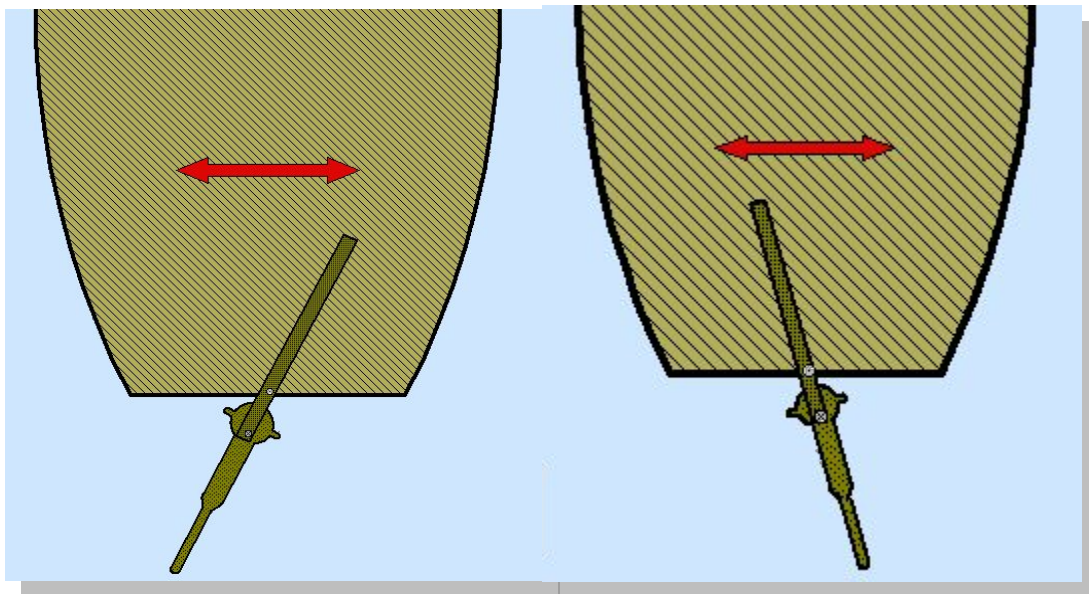
Con estos datos aproximados resulta una:

$F = 100 \text{ N}$



Movimiento

Podemos gobernar el mecanismo, esto es, hacerlo girar, parar o reiniciar, observando todos los datos que el sistema y el programa nos ofrecen.



Valores en tiempo real.

Tenemos la opción también de observar en tiempo real y conforme al movimiento del mecanismo, valores como la posición, los esfuerzos, el tiempo, etc.

Mediciones obtenidas.

La siguiente tabla muestra la posición en radianes, del timón y la fuerza ejercida por la persona para una presión supuesta aplicada en la punta de 100 N. Podemos ver que la fuerza máxima será ejercida para una posición de 0.657 rad. (lo máximo que gira el timón es aproximadamente 40°) en el instante de tiempo de 7.5 segundos.

Fuerza de TIMÓN (N)

Posición de TIMÓN (rad)

t	F			t	rotación
0.000	0.000	-	-	0.000	0.000
0.500	33.263	-	-	0.500	0.025
1.000	46.209	-	-	1.000	0.050
1.500	62.803	-	-	1.500	0.077
2.000	81.786	-	-	2.000	0.104
2.500	103.044	-	-	2.500	0.133
3.000	126.926	-	-	3.000	0.165
3.500	154.077	-	-	3.500	0.199
4.000	185.440	-	-	4.000	0.236
4.500	222.346	-	-	4.500	0.277
5.000	266.698	-	-	5.000	0.323
5.500	321.294	-	-	5.500	0.374
6.000	389.654	-	-	6.000	0.432
6.500	456.077	-	-	6.500	0.498
7.000	534.893	-	-	7.000	0.572
7.500	628.960	-	-	7.500	0.657
8.000	501.946	-	-	8.000	0.640
8.500	40.963	-	-	8.500	0.615
9.000	42.170	-	-	9.000	0.586
9.500	39.274	-	-	9.500	0.558
10.000	37.771	-	-	10.000	0.530
10.500	36.537	-	-	10.500	0.502
11.000	35.419	-	-	11.000	0.474
11.500	34.420	-	-	11.500	0.447
12.000	33.522	-	-	12.000	0.420
12.500	32.709	-	-	12.500	0.394



13.000	31.996	-	-	13.000	0.367
13.500	31.370	-	-	13.500	0.341
14.000	30.796	-	-	14.000	0.315
14.500	30.288	-	-	14.500	0.289
15.000	29.839	-	-	15.000	0.263
15.500	29.468	-	-	15.500	0.238
16.000	29.094	-	-	16.000	0.212
16.500	28.795	-	-	16.500	0.187
17.000	28.528	-	-	17.000	0.162
17.500	28.310	-	-	17.500	0.136
18.000	28.134	-	-	18.000	0.111
18.500	27.988	-	-	18.500	0.086
19.000	27.884	-	-	19.000	0.061
19.500	27.814	-	-	19.500	0.036
20.000	27.780	-	-	20.000	0.011
20.500	29.525	-	-	20.500	-0.014
21.000	39.747	-	-	21.000	-0.039
21.500	54.965	-	-	21.500	-0.065
22.000	72.926	-	-	22.000	-0.092
22.500	93.135	-	-	22.500	-0.120
23.000	115.768	-	-	23.000	-0.151
23.500	141.346	-	-	23.500	-0.183
24.000	170.670	-	-	24.000	-0.219
24.500	204.879	-	-	24.500	-0.258
25.000	245.588	-	-	25.000	-0.302
25.500	295.141	-	-	25.500	-0.350
26.000	357.045	-	-	26.000	-0.405
26.500	424.268	-	-	26.500	-0.467
27.000	497.146	-	-	27.000	-0.538



6.- CONCLUSIONES



6.- CONCLUSIONES

- No solo estamos ante una cuestión de arte naval, sino también, ante una cuestión de ingeniería mecánica, la cual es desde el siglo XV, una disciplina independiente, como ya expuso Galileo Galileí, en *Le Mecaniche*.
- La ingeniería mecánica en el siglo XV y por tanto, su contribución al descubrimiento, no deja de ser básicamente una aplicación de la ley de la palanca, es decir, se hace realidad el famoso dicho de *Arquímedes* "dame un punto de apoyo y moveré el mundo".
- Con la diferenciación de éstos mecanismos y su estudio individualizado, se ha conseguido apreciar, el inestimable valor que la ingeniería mecánica, aportó a ésta hazaña y sin la cual, se comprende harto complicado su éxito.
- Así también, se observa, que sin la aplicación adecuada y su admirable destreza en la manejabilidad de éstos sistemas mecánicos, hubiese sido muy complicado, la consecución de éste histórico punto de inflexión.

Finalmente, las personas encargadas en diseñar y construir las máquinas en la época del Descubrimiento, utilizaban un método de aplicación de la ciencia que no se parecía nada al de hoy en día, la mayoría de los conocimientos se obtenían a través de la propia experiencia y de la transmisión oral de sus antepasados e ignoraban casi por completo los fundamentos físico-teóricos de las máquinas que fabricaban. Sabían que funcionaban pero no sabían por qué funcionaban. A ojos de la ciencia moderna, esto podría ser algo poco fiable y rudimentario, pero lo cierto es que estos "artesanos" podían realizar máquinas realmente ingeniosas, fiables y eficaces.

Sin duda, en el siglo XV existía una ciencia sobre los materiales y la mecánica asentada, puesto que se fabricaban máquinas y mecanismos de una manera eficaz, capaces de cumplir con su trabajo, y capaces de resistir grandes fuerzas sin romperse o dejar de ser útiles; en el caso de las carabelas, capaces de afrontar la fuerza del mar y el oleaje. Pero esta ciencia no conocía el término de mecanismo tal y como lo conocemos ahora, a pesar de fabricarlos con gran frecuencia y normalidad.

Realizando los análisis de diversos mecanismos en las carabelas, en capítulos anteriores, han aparecido términos como, par cinemático, esquema cinemático, eslabón binario y eslabón ternario. Hoy en día un mecanismo está totalmente ligado a esos términos, sin los cuales carecería de definición, función o sentido. Pero, ¿Eran conocidos por los constructores de aquellos mecanismos en el siglo



XV?, Pues estos términos muy probablemente no eran conocidos, por lo que, habría otra visión de la mecánica y los mecanismos muy diferente a la que tenemos actualmente, pero que sin duda ha servido de pilar sobre el que a través de los años, se pudiera asentar la mecánica que conocemos hoy en día.

Este método de aplicar la ciencia no tiene nada que envidiar a los métodos modernos. Aquí podemos encontrar un ejemplo; según un artículo publicado por "El País" el 1 de Octubre de 1992, Carlos Etayo, quien durante casi 40 años se ha dedicado a la arqueología naval colombina, realizó el mismo viaje que realizó Colón hace 500 años, con una réplica de la "Niña". Pues bien, tardó en llegar a América casi 40 días más que Colón. Incluso los equipos de rescate internacionales dieron al barco por perdido. "Aquella carabela", dice Etayo, "fue diseñada según la teoría de los expertos Julio Guillén y José María Martínez Hidalgo, y casi nos hundimos con el primer temporal. Según sus diseños, las carabelas no tenían raseles, algo fundamental para el gobierno de la nave. Ahora ya no me fío de los teóricos". Podemos construir submarinos nucleares y se nos resiste una pequeña nave de madera, cuyos secretos probablemente no se encuentren en ningún libro y sus principales conocedores seguirán siendo viejos artesanos.

En general, este trabajo servirá para enriquecer futuras tesis de carácter histórico-técnico, además de mostrarse idóneo para estudios enfocados al tratamiento de imágenes, simulación y modelado de los navíos de la época.

Deja también, la puerta abierta a futuras líneas de investigaciones, como pueden ser:

Ingeniería de los materiales usados en la construcción de los diferentes mecanismos, atendiendo a sus propiedades mecánicas inherentes.

Cálculos precisos de optimización posicional de los mástiles en las carabelas.

Optimización del dimensionado, forma y disposición de las velas, así como de los diferentes mecanismos y sistemas mecánicos.

Metodologías de aplicación de la ciencias, en el diseño y construcción de mecanismos y maquinas en el Siglo XV.

Por último plantear una pregunta, ¿se hubiera conseguido la azáña descubridora sin la aportación de estos mecanismos y por tanto de la ingeniería mecánica?.



7.- FUENTES DE INFORMACIÓN.



7.- FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográfica:

- Marcelino González. NAO “Santa María” capitana del descubrimiento. Editorial La espada y la pluma, Madrid 2006.
- José Luís Comellas. El cielo de Colón: Técnicas navales y astronómicas en el viaje del Descubrimiento. Editorial Tabapress, Madrid 1991.
- Ángel Luís Molina Molina. Los viajes por mar en la Edad Media.
- Varios autores. Breve historia ilustrada de las máquinas. Edita Sección de publicaciones de la escuela técnica superior de ingenieros industriales, Universidad Politécnica de Madrid 2007.
- Rafael Magro Andrade. Fundamentos de Mecánica.
- Prof. Francisco Fernández González. Historia de la Ingeniería en España.
- José Luis Rubio Serrano. Arquitectura de las Naos y Galeones de las flotas de Indias; Tomo I.
- Alba, J.A., Doblaré, M., Gracia, L. Un método general para la síntesis de posición de mecanismos con pares inferiores y superiores (II): síntesis de posición con restricciones cinemáticas, Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, vol. 13, n.º 1, pp. 71-94, 1997-
Agulló, J., Mecánica de la partícula y del sólido rígido, OK Punt, Barcelona. ISBN: 84-920850-2-9. 1996
- Ángeles Álvarez, J., Análisis y síntesis cinemáticos de sistemas mecánicos. Editorial Limusa, México 1978.
- Avilés, R., Métodos de análisis para diseño mecánico. Sección de publicaciones de la E.S. de Ingenieros de Bilbao. Bilbao, 2002.
- Bautista Paz, E., Breve historia ilustrada de las máquinas. Asociación Española de Ingeniería Mecánica-ETSII. Madrid 2007.
- Beer, F. P. y Johnston, E. R., Mecánica vectorial para ingenieros. Dinámica. Editorial McGraw Hill. 7ª edición. México, 2003.
- Boresi, Arthur P., Ingeniería mecánica: Dinámica. Editorial Díaz de Santos. Madrid. 2001.



- Calero Pérez, R. y Carta J.A., Fundamentos de mecanismos y máquinas para ingenieros. Editorial McGraw Hill. Madrid, 1999.
- Colominas y otros., Problemas de Teoría de Máquinas. Editorial Díaz de Santos. Madrid, 2003.
- Das, B.M....[et Al.], Mecánica para Ingenieros. Dinámica. Editorial Limusa. México, ISBN: 9681850939 1999.
- Erdman, A., Mechanism design: analysis and synthesis, Prentice Hall, 1997.
- García Prada, J.C., Castejón Sisamón, C., Rubio Alonso, H., Problemas Resueltos de Teoría de Máquinas y Mecanismos, Thomson Editores, Madrid. ISBN 978-84-9732-495-3. 2007.
- Gómez del Campo B., J.C., Mecánica. Editorial Paraninfo, 2001.
- González Fernández, C., Mecánica del Sólido Rígido, Editorial Ariel. ISBN: 8434480581. 1ª Ed. Febrero 2003.
- Ham, C.W., Crane, E.J. y Rogers, W.L.: Mecánica de Máquinas. McGraw-Hill, 4ª edición. Nueva York. 1980.
- Hernández, A.: Cinemática de Mecanismos. Análisis y Diseño. Ed. Síntesis. ISBN: 84-7738-224-0. 2004.
- Hernández, A., Pinto, C., Petuya, V. y Agirrebeitia, J., Teoría de Mecanismos. E.T.S. Ingenieros de Bilbao. ISBN: 84-95809-11-7. 2002.
- Kozhevnikoc, S., Mecanismos. Editorial Gustavo Gill, España, 1981.
- Levi, V., Elementos de mecanismos. C.E.C.S.A., México, 1962.
- Marks., Manual del ingeniero mecánico. Editorial McGraw Hill, México, 2001.
- Norton, R., Diseño de maquinaria. Editorial McGraw Hill, 3ª edición. México, 2003.
- Pérez Moreno R., Análisis de Mecanismos y Problemas Resueltos 2ª Ed., Editorial Alfaomega, México, 2006.
- Riley, W. F., Ingeniería Mecánica. Dinámica. Editorial Reverté. Barcelona, 1996.
- Sandor Bela I., Ingeniería mecánica: Estática y Dinámica. Editorial Prentice Hall. México, 2002.



- Shigley, J.E., Uicker Jr., J.J., Teoría de máquinas y mecanismos. Editorial Mcgraw Hill. 2ª edición. México, 1995.
- Strandh, S., Máquinas. Una historia ilustrada, Hermann Blume Ediciones, 1982.
- “Le Mecaniche” por Galileo Galilei, en 1593.
- “Fundamentos de Teoría de Máquinas” por Antonio Simón Mata, edit. Bellisco. Ediciones Técnicas y Científicas, 2004.

Artículos:

2005

Ceccarelli M. “A brief Account on the Evolution of TMM (Theory of Machines and Mechanisms) to MMS (Machine and Mechanism Science), Keynote Lecture, 12th National Conference on Machine and Mechanism, NaCoMM-2005, IIT Guwahati, 2005, pp.53-59.

2007

Ceccarelli M., “Renaissance of machines: from Brunelleschi to Galilei through Francesco di Giorgio and Leonardo”, 12th World Congress in Mechanism and Machine Science IFToMM’07, Besançon, 2007, paper n.A236.

2008

Brix T., Ceccarelli M., Döring U., Kurt Hain – An Outstanding Personality in the Field of Applied Kinematics and the Accessibility to his Scientific Work, Proceedings of HMM2008- the Third IFToMM International Symposium on History of Machines and Mechanisms, Springer, Dordrecht, 2008, pp. 45-58.

Muñoz Sanz J.L., Bautista Paz E. , Ceccarelli M., Echávarri Otero J., et al., The Evolution and Development of Mechanical Engineering Through Large Cultural Areas, Proceedings of HMM2008- the Third IFToMM International Symposium on History of Machines and Mechanisms, Springer, Dordrecht, 2008, pp. 69-82.



Ceccarelli M., De Paolis., A Brief Account on Roman Machines and Cultural Frames, Proceedings of HMM2008- the Third IFToMM International Symposium on History of Machines and Mechanisms, Springer, Dordrecht, 2008, pp. 83-100.

Russo F., Rossi C., Ceccarelli M., Russo F., Devices for Distance and Time Measurement at the Time of Roman Empire, Proceedings of HMM2008- the Third IFToMM International Symposium on History of Machines and Mechanisms, Springer, Dordrecht, 2008, pp. 101-114.

Echávarri Otero J., Díaz Lantada A., Muñoz Sanz J.L., Ceccarelli M., Bautista Paz E., et al., The Twenty-One Books of Devices and Machines: An Encyclopaedia of Machines and Mechanisms of the 16th Century, Proceedings of HMM2008- the Third IFToMM International Symposium on History of Machines and Mechanisms, Springer, Dordrecht, 2008, pp. 115-132.

Digitales:

- MSN Encarta. <http://es.encarta.msn.com>
- Biblioteca virtual Miguel de Cervantes; Julio Rey Pastor. La ciencia y la técnica en el descubrimiento de América.
<http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/colon/01340134942085546027508/index.htm>
- “El País”, artículo de Javier Martín, El capitán Etayo y su carabela de verdad.
http://www.elpais.com/articulo/ultima/V_CENTENARIO_DEL_DESCUBRIMIENTO_DE_AMERICA/capitan/Etayo/carabela/verdad/elpepiule/19921001elpepiult_1/Tes/
- Roberto Brunori Albergotti. Historia de los principales barcos desde la Edad Media hasta el galeón; Proyecto de investigación.
<http://www.mayores.uji.es/proyectos/proyectos2005/historiabarchi.pdf>
- Aproximación a la construcción de barcos: una manera de pensar la forma. Control gráfico de formas y superficies de transición.
http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0317105-171559//08lcc08de39.pdf
- Early TMM in Le Mecaniche by Galileo Galilei in 1593. Marco Ceccarelli



http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=893892802&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=ca456eb54f5c2a36a5dff9e087ca7d82

Experimentales:

- Para realizar los análisis de los diferentes mecanismos presentes en las naves (dimensiones, fotografías...etc.) Nos hemos basado en las recreaciones expuestas en el Muelle de las Carabelas, en la Rábida, de la "Pinta", la "Niña", y la "Santa María".

